



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

FACULTAT DE NÀUTICA DE BARCELONA

# **METODOLOGIA I FLOTA NECESSARIA PER A LA INSTAL·LACIÓ I MANTENIMENT D'UN PARC EÒLIC *OFFSHORE***

Autor: Aitor Salvadó Larrinaga

Director: Mariano Badell Serra

Any: 2013

# ÍNDEX

I – INTRODUCCIÓ .....	pàg 1
II - OBJECTIUS DEL TREBALL .....	pàg 2
III - ESTRUCTURA DEL TREBALL .....	pàg 2

## - PART 1 -

<b>1. L'ENERGIA EÒLICA .....</b>	<b>pàg 3</b>
1.1. Descripció .....	pàg 3
1.2. Altres usos i aplicacions de l'energia eòlica .....	pàg 4
1.2.1. Generació elèctrica a escala "mini" .....	pàg 4
1.2.2. Bombeig d'aigua .....	pàg 4
1.2.3. Hidrogen "verd" .....	pàg 5
1.2.4. Dessalinització .....	pàg 5
<b>2. COMPARACIÓ ENTRE L'ENERGIA EÒLICA OFFSHORE RESPECTE LA ONSHORE</b>	<b>pàg 6</b>
2.1. Avantatges .....	pàg 6
2.2. Inconvenients .....	pàg 6
2.3. Desglossament dels costos segons el tipus d'instal·lació .....	pàg 7
<b>3. SITUACIÓ ACTUAL D'ENERGIA EÒLICA OFFSHORE A EUROPA I PRINCIPALS PARCS.....</b>	<b>pàg 8</b>
3.1. Situació a Espanya .....	pàg 9
3.2. Possibles localitats .....	pàg 11
3.3. Principals fabricants .....	pàg 12
<b>4. AEROGENERADORS .....</b>	<b>pàg 13</b>
4.1. Funcionament d'un aerogenerador .....	pàg 13
4.2. Parts d'un aerogenerador .....	pàg 14
<b>5. TIPUS DE CIMENTACIONS, BASES I ANCLATGES .....</b>	<b>pàg 20</b>
5.1. Cimentació <i>monopile</i> .....	pàg 22
5.2. Cimentació <i>gravity</i> .....	pàg 23

5.3. Cimentació <i>tripod</i> .....	pàg 23
5.4. Cimentació <i>jacket</i> .....	pàg 24
5.5. Estructures flotants .....	pàg 25
5.5.1. Avantatges de les estructures flotants .....	pàg 26
5.5.2. Inconvenients de les estructures flotants .....	pàg 26
5.5.3. Estructura flotant <i>Ballast Stabilized Spar-Buoy</i> .....	pàg 27
5.5.4. Estructura flotant <i>Mooring Line-Stabilized Tension Leg Platform (TLP)</i> .....	pàg 28
5.5.5. Estructura flotant <i>Buoyancy Stabilized Barge</i> .....	pàg 28

## - PART 2 -

<b>6. MUNTATGE D'UN AEROGENERADOR .....</b>	<b>pàg 29</b>
6.1 Opcions de transport i instal·lació .....	pàg 29
6.1.1. Configuració 1 .....	pàg 32
6.1.2. Configuració 2 .....	pàg 34
6.1.3. Configuració 3 .....	pàg 35
6.1.4. Configuració 4 .....	pàg 37
6.1.5. Configuració 5 .....	pàg 38
6.1.6. Configuració 6 .....	pàg 39
6.1.7. Configuració 7 .....	pàg 41
6.1.8. Configuració 8 .....	pàg 43
<b>7. DISSENY DE LA TURBINA .....</b>	<b>pàg 45</b>
7.1. Disseny de la turbina segons el transport .....	pàg 45
7.2. Disseny de la turbina segons la instal·lació .....	pàg 46
7.3. Disseny de la turbina segons la seva ubicació <i>offshore</i> .....	pàg 46
7.4. Disseny de la turbina segons el manteniment .....	pàg 46
<b>8. REPERCUSSIÓ DEL DISSENY DE LA TURBINA SOBRE ELS COSTOS DEL TRANSPORT</b> .....	<b>pàg 48</b>
<b>9. ANÀLISI DE L'ESTRATÈGIA D'INSTAL·LACIÓ .....</b>	<b>pàg 53</b>
<b>10. ADEQUACIÓ DELS PORTS .....</b>	<b>pàg 55</b>
10.1. Introducció .....	pàg 55

10.2. Ports d'importació / exportació .....	pàg 56
10.3. Ports de construcció .....	pàg 57
10.4. Ports de fabricació .....	pàg 59
10.5. Ports d'operació i manteniment: ports de reacció ràpida .....	pàg 60
<b>11. FLOTA NECESSÀRIA PER A LA CONSTRUCCIÓ I EL MANTENIMENT DELS AEROGENERADORS OFFSHORE .....</b>	<b>pàg 63</b>
11.1. Introducció .....	pàg 63
11.2. Descripció de la flota .....	pàg 68
11.2.1. Vaixells d'investigació oceanogràfica .....	pàg 70
11.2.2. Vaixells de càrrega .....	pàg 78
11.2.3. Vaixells grua .....	pàg 83
11.2.4. Vaixells Anchor Handling Tug AHTS .....	pàg 89
11.2.5. Vaixells de subministrament (PSV platform supply vessels) .....	pàg 93
11.2.6. Vaixells Jack-up .....	pàg 98
11.2.7. Vaixells cablers .....	pàg 107
11.2.8. Remolcadors .....	pàg 113
11.2.9. Vaixells de transferència de personal .....	pàg 118
11.2.10. Vaixells hotel .....	pàg 121
11.2.11. Plataformes flotants .....	pàg 124
11.2.12. Robots ROV .....	pàg 126
11.2.13. Vaixells especials .....	pàg 128
11.3. Costos estimats del lloguer dels vaixells .....	pàg 129
<b>12. POSICIONAMENT DINÀMIC (DP) .....</b>	<b>pàg 130</b>
<b>12.1. Components .....</b>	<b>pàg 130</b>
<b>12.2. Funcionament .....</b>	<b>pàg 131</b>
<b>12.3. Forces i moviments .....</b>	<b>pàg 132</b>
<b>12.4. Sistemes de control .....</b>	<b>pàg 133</b>
<b>12.5. Simulació sistema posicionament dinàmic DP a la facultat de nàutica NT3 .....</b>	<b>pàg 134</b>



**13. SUBESTACIONS ..... pàg 137**

**14. MANTENIMENT ..... pàg 142**

**- PART 3 -**

**15. AVANTPROJECTE DE LA CONSTRUCCIÓ D'UN PARC EÒLIC MARÍ A LES COSTES  
DE TARRAGONA ..... pàg 144**

**16. CONCLUSIONS ..... pàg 148**

**17. BIBLIOGRAFIA ..... pàg 149**

## ÍNDIX DE TAULES I FIGURES

### - PART 1 -

<b>Taula 1.</b> Estructura percentual dels costos d'inversió d'instal·lacions eòliques onshore i offshore .....	pàg 7
<b>Figura 1.</b> Nombre d'instal·lacions <i>offshore</i> anuals a Europa i potència. Font:EWEA.	Pàg 9
<b>Figura 2.</b> Mapa de possibles àrees eòliques marines a Espanya. Font: Urbanity.	Pàg 11
<b>Figura 3.</b> Rati de mercat per fabricants. En MW (esquerra), en nombre de turbines (dreta). Font: EWEA .....	pàg 12
<b>Figura 4.</b> Parts de l'aerogenerador. Font: Alpha Ventus .....	pàg 14
<b>Figura 5.</b> Torre. Font: portstrategy.com .....	pàg 15
<b>Figura 6.</b> Caixa de canvis. Font: hansentransmissions.com .....	pàg 16
<b>Figura 7.</b> Fre i generador. Font: agmetalminer.com .....	pàg 16
<b>Figura 8.</b> Góndola. Font: Alpha Ventus .....	pàg 18
<b>Figura 9.</b> Pala. Font: michiganradio.org .....	pàg 18
<b>Figures 10 i 11.</b> Boixa. Font: eurotrib.com .....	pàg 19
<b>Figura 12.</b> Parts mecàniques de la góndola i rotor. Font: Renovables Wordpress	pàg 20
<b>Figura 13.</b> Rati de les cimentacions més usades. Font: EWEA .....	pàg 21
<b>Figura 14.</b> Tipus de cimentacions (d'esquerra a dreta): <i>monopile</i> , <i>tripod</i> , <i>jacket</i> , <i>gravity</i> . Font: The engineer .....	pàg 22
<b>Figura 15.</b> Cimentació <i>monopile</i> . Font: Garrad Hassan and Partners Ltd .....	pàg 22
<b>Figura 16.</b> Cimentació <i>gravity</i> .....	pàg 23
<b>Figura 17.</b> Cimentació <i>tripod</i> .....	pàg 24
<b>Figura 18.</b> Cimentació <i>jacket</i> .....	pàg 25
<b>Figura 19.</b> Exemple d'estructures flotants. Font: eaem.co.uk .....	pàg 26
<b>Figura 20.</b> Estructures flotants descrites. Font: geo.eng.cam.ac.uk .....	pàg 27

## - PART 2 -

<b>Figura 21.</b> Esquema i mides de la turbina. Font: WEA AREVA .....	pàg 29
<b>Figura 22.</b> Exemple de les quatre bases més destacades: <i>gravity, monopile, tripod i jacket</i> . Font: windfarmbop.com .....	pàg 30
<b>Figura 23.</b> Configuració 1. Font: WEA AREVA i pròpia.....	pàg 32
<b>Taula 2.</b> Característiques massa i dimensions de la configuració 1. Font: pròpia..	pàg 33
<b>Figura 24.</b> Configuració 2. Font: WEA AREVA i pròpia.....	pàg 34
<b>Taula 3.</b> Característiques massa i dimensions de la configuració 2. Font: pròpia...	pàg 34
<b>Figura 25.</b> Configuració 3. Font: WEA AREVA i pròpia.....	pàg36
<b>Taula 4.</b> Característiques massa i dimensions de la configuració 3. Font: pròpia..	pàg 36
<b>Figura 26.</b> Configuració 4. Font: WEA AREVA i pròpia.....	pàg 37
<b>Taula 5.</b> Característiques massa i dimensions de la configuració 4. Font: pròpia..	pàg 37
<b>Figura 27.</b> Configuració 5. Font: WEA AREVA i pròpia.....	pàg 38
<b>Taula 6.</b> Característiques massa i dimensions de la configuració 5. Font: pròpia..	pàg 39
<b>Figura 28.</b> Configuració 6. Font: WEA AREVA i pròpia.....	pàg 40
<b>Taula 7.</b> Característiques massa i dimensions de la configuració 6. Font: pròpia..	pàg 40
<b>Figura 29.</b> Configuració 7. Font: WEA AREVA i pròpia.....	pàg 41
<b>Taula 8.</b> Característiques massa i dimensions de la configuració 7. Font: pròpia..	pàg 42
<b>Figura 30.</b> Configuració 8. Font: WEA AREVA i pròpia.....	pàg 43
<b>Taula 9.</b> Característiques massa i dimensions de la configuració 8. Font: pròpia..	pàg 44
<b>Figura 31.</b> Gràfic de la relació massa-potència dels elements de la turbina. Font: EWEA. .....	pàg 45

<b>Taula 10.</b> Fases del cicle de vida d'un parc eòlic offshore .....	pàg 55
<b>Figura 32.</b> Port de Hartlepool. S'utilitzarà per l'emmagatzematge de peces per els parcs eòlica marins. Font: nebusiness.co.uk .....	pàg 57
<b>Figura 33.</b> Port de Mostyn, Regne Unit. S'utilitza com a port base per la instal·lació de turbines <i>offshore</i> . Font: offshorewind.biz .....	pàg 59
<b>Figura 34.</b> Port de Belfast, Regne Unit. S'utilitza com a port base per la instal·lació de turbines <i>offshore</i> . Font: bloomberg.com. Fotògraf: Peter MacDiarmid / Getty Images....	pàg 59
<b>Figura 35.</b> Exemple de com serà el Port de Belfast, Regne Unit. S'utilitzarà com a port base per la instal·lació de turbines <i>offshore</i> . Font: sciencedirect.com .....	pàg 60
<b>Figura 36.</b> Port a alta mar. Font: www.haveneilandopzee.nl .....	pàg 62
<b>Figura 37.</b> Dos remolcadors amb barcaça jack-up. Font: Gunnar Britse, www.windpowerphotos.com .....	pàg 64
<b>Figura 38.</b> Transport flotant amb un remolcador. Font: Gunnar Britse, www.windpowerphotos.com .....	pàg 64
<b>Figura 39.</b> Torres transportades en un vaixell de càrrega. Font: BBC Chartering ..	pàg 64
<b>Figura 40.</b> Cimentació <i>tripod</i> en una grua flotant. Font : Alpha Ventus .....	pàg 65
<b>Figura 41.</b> Transport de la góndola, torre i rotor amb pales amb una barcaça flotant i dos remolcadors. Font: Alpha Ventus .....	pàg 65
<b>Figura 42.</b> Transport de cimentacions <i>jacket</i> amb una barcaça flotant i dos remolcadors. Font: Alpha Ventus .....	pàg 65
<b>Figura 43.</b> Transport de cimentacions <i>tripod</i> amb una barcaça flotant i dos remolcadors. Font: Alpha Ventus .....	pàg 65
<b>Figura 44.</b> Transport de les góndoles amb una barcaça flotant i dos remolcadors. Font: Alpha Ventus .....	pàg 66
<b>Figura 45.</b> Transport i instal·lació de les cimentacions <i>tripod</i> amb un vaixell de càrrega i construcció. Font: www.heavyliftspecialist.com/wind-energy/page/2/ .....	pàg 66

<b>Figura 46.</b> Jack-up transportant i instal·lant les cimentacions <i>tripod</i> . Font: <i>FLYING FOCUS lucht fotografie</i> .....	pàg 66
<b>Figura 47.</b> Jack-up transportant cimentacions <i>monopile</i> . Font: Skeyes <a href="http://www.skeyesphoto.com">www.skeyesphoto.com</a> .....	pàg 67
<b>Figura 48.</b> Jack-up transportant torres. Font: <a href="http://cranestodaymagazine.com">cranestodaymagazine.com</a> .....	pàg 67
<b>Figura 49.</b> Estudi del fons marí. Font: Osiris projects .....	pàg 71
<b>Figura 50.</b> Resultat estudi oceanogràfic. Font: National Institute of Water & Atmospheric Research, <a href="http://www.niwa.co.nz">www.niwa.co.nz</a> .....	pàg 71
<b>Figura 51.</b> Imatge del cable elèctric instal·lat. Font Osiris Projects .....	pàg 72
<b>Figura 52.</b> Vaixell oceanogràfic Bibby Tethra. Font: Osiris Projects .....	pàg 72
<b>Taula 11.</b> Característiques del Bibby Tethra. Font: Osiris Projects .....	pàg 75
<b>Figura 53.</b> Plànols Bibby Tethra. Font: Osiris Projects .....	pàg 76
<b>Figura 54.</b> Plànols Bibby Tethra. Font: Osiris Projects .....	pàg 77
<b>Figura 55.</b> Vaixell semi-submergible Mighty Servent 3. Font: <a href="http://marinelog.com">marinelog.com</a> .....	pàg 78
<b>Figura 56.</b> Vaixell de càrrega BBC ELBE. Font: BBC Chartering .....	pàg 79
<b>Figura 57.</b> Vaixell de càrrega BBC ELBE. Font: BBC Chartering .....	pàg 80
<b>Taula 12.</b> Característiques vaixell BBC Elbe. Font: BBC Chartering.....	pàg 81
<b>Figura 58.</b> Plànols vaixell BBC Elbe. Font: BBC Chartering.....	pàg 82
<b>Figura 59.</b> Vaixell Strashnov OLEG. Instal·lant les cimentacions <i>monopile</i> . Font: Gusto MSC .....	pàg 83
<b>Figura 60.</b> Vaixell Strashnov OLEG de carga (Havy Lift) transportant una sub-estació. Font: Skeyes per elevació Seaway Heavy (c).....	pàg 84
<b>Taula 13.</b> Característiques vaixell Strashnov OLEG. Font: Gusto MSC.....	pàg 85

<b>Figura 61.</b> Grua del vaixell Strashnov OLEG. Font: Gusto MSC.....	pàg 86
<b>Taula 14.</b> Característiques generals de la grua del vaixell Strashnov OLEG. Font: Gusto MSC.....	àg 87
<b>Figura 62.</b> Plànols del vaixell Strashnov OLEG. Font: Gusto MSC.....	pàg 88
<b>Figura 63.</b> Vaixell AHTS Siem Amethyst. Font: SIEM offshore.....	pàg 89
<b>Taula 15.</b> Característiques generals del vaixell AHTS Siem Amethyst. Font: SIEM offshore .....	pàg 91
<b>Figura 64.</b> Plànols del vaixell AHTS Siem Amethyst. Font: SIEM offshore.....	pàg 92
<b>Figura 65.</b> Vaixell PSV Normand Àrtic. Font: Solstad offshore ASA .....	pàg 94
<b>Taula 16.</b> Característiques generals del vaixell PSV Normand Àrtic. Font: Solstad offshore ASA .....	pàg 96
<b>Figura 66.</b> Plànols del vaixell PSV Normand Àrtic. Font: Solstad offshore ASA.....	pàg 97
<b>Figura 67.</b> Vaixell jack-up Innovation transportant cimentacions <i>tripod</i> . Font: hgo-infrasea-solution .....	pàg 98
<b>Figura 68.</b> Vaixell jack-up. Esquema mides. Font BBC news.....	pàg 98
<b>Figura 69.</b> Potes elevació. Font: flickr.com Autor: Ken Doerr.....	pàg 99
<b>Figura 70.</b> Potes d'un jack-up amb sistema passador i forat. Font: sal-heavylift.com.....	pàg 101
<b>Figura 71.</b> Esquema funcionament sistema passador i forat. Font: ship-oilrig.com.....	pàg 101
<b>Figura 72.</b> Sistema d'elevació de cremallera. Font: ship-oilrig.com .....	pàg 102
<b>Figura 73.</b> Pinyó del sistema cremallera. Font: offshore-mag.com.....	pàg 102
<b>Figura 74.</b> Sistema cremallera. Font: GUSTO MSC.....	pàg 102
<b>Figura 75.</b> Sistema de cremallera. Font Ken Doerr.....	pàg 103

<b>Figura 76.</b> Motors d'elevació. Font Ken Doerr .....	pàg 103
<b>Figura 77.</b> Potes de vaixell jack-up. Font Ken Doerr.....	pàg 103
<b>Figura 78.</b> Vaixell Sea Installer. Font: A2SEA .....	pàg 104
<b>Taula 17.</b> Característiques vaixell Sea Installer. Font: A2SEA.....	pàg 105
<b>Figura 79.</b> Plànols vaixell Sea installer. Font: A2SEA.....	pàg 106
<b>Figura 80.</b> Representació d'un vaixell cabler. Font: telcominterlex.com.....	pàg 107
<b>Figures 81, 82 i 83.</b> Vaixell Giulio Verne. Font: voltimum.es.....	pàg 108
<b>Figura 84.</b> Popa del buc cabler Giulio Verne. Font: almadeherrero.blogspot.com.es.....	pàg 109
<b>Figura 85.</b> Vaixell Giulio Verne. Font: MarineTraffic.com.....	pàg 110
<b>Taula 18.</b> Característiques Vaixell Giulio Verne. Font: Prysmian.....	pàg 111
<b>Figura 86.</b> Plànols Giulio Verne. Font: Prysmian.....	pàg 112
<b>Figura 87.</b> Remolcador i plataforma flotant amb carregament de góndoles. Font: Alpha Ventus ..	pàg 113
<b>Figura 88.</b> Remolcador i plataforma flotant amb carregament de cimentacions <i>jacket</i> . Font: Alpha Ventus.....	pàg 113
<b>Figura 89.</b> Remolcador Salvador Dalí. Font: pròpia .....	pàg 114
<b>Taula 19.</b> Característiques Generals del remolcador Salvador Dalí. Font: reyser .	pàg 116
<b>Figura 90.</b> Plànols del remolcador Salvador Dalí. Font: reyser .....	pàg 117
<b>Figura 91.</b> Vaixell de transferència de personal Wind Transporter. Font: A2SEA.	pàg 118
<b>Figura 92.</b> Vaixell Wind Transporter al parc eòlic d'Anholt. Font: Dong Energy...	pàg 119
<b>Taula 20.</b> Característiques vaixell Wind Transporter. Font: Dong Energy .....	pàg 119

<b>Figura 93.</b> Plànols vaixell Wind Transporter. Font: Dong Energy .....	pàg 120
<b>Figura 94.</b> Vaixell Edda Fides. Font: eddaaccommodation.....	pàg 121
<b>Taula 21.</b> Característiques vaixell Edda Fides. Font: eddaaccommodation.....	pàg 122
<b>Figura 95.</b> Plànols vaixell Edda Fides. Font: eddaaccommodation.....	pàg 123
<b>Figura 96.</b> Transport de 3 plataformes jack up SEA JACK en un vaixell de carga. Font: jackupbarge.com .....	pàg 124
<b>Figura 97.</b> Plataforma jack up SEA JACK instal·lant un aerogenerador. Font: A2SEA .....	pàg 124
<b>Figura 98.</b> Plataformes jack up barges karlissa A. Font: titansalvage.com .....	pàg 124
<b>Figura 99.</b> Transport de les cimentacions tripod amb una plataforma flotant remolcada per un remolcador. Font : Alpha Ventus .....	pàg 124
<b>Figura 100.</b> Especificacions tècniques i plànols de la plataforma Sea Jack. Font: A2SEA .....	pàg 125
<b>Figura 101.</b> Manipulació del cable amb el ROV. Font: Ken Doerr .....	pàg 126
<b>Figura 102.</b> ROV al parc eòlic Anholt. Font: Dongenergy .....	pàg 127
<b>Figura 103.</b> ROV T1200 al parc eòlic Sheringham Shoal. Font: helixcurrents.com .....	pàg 127
<b>Figura 104.</b> Prototip de Huisman. Font: Huisman .....	pàg 128
<b>Figura 105.</b> Prototip de vuik engineering. Font: vuykrotterdam.com .....	pàg 128
<b>Figura 106.</b> Prototip WINDLIFTER. Font: windlifter.nl .....	pàg 128
<b>Figura 107.</b> Parc eòlic <i>offshore</i> vaixells d'instal·lació i serveis. Font: BVG associates .....	pàg 129
<b>Figura 108.</b> Forces de treball al vaixell. Font: Kongsberg.....	pàg 132



<b>Figura 109.</b> Esquema sistema propulsió amb el DP. Font: Kongsberg.....	pàg 134
<b>Figura 110.</b> Monitor control DP. Font: Kongsberg Kongsberg.....	pàg 134
<b>Figura 111.</b> Monitors control DP. Font: Kongsberg.....	pàg 134
<b>Figura 112.</b> Simulador de la Facultat de Nàutica de Barcelona, NT3. Font: pròpia .....	pàg 135
<b>Figura 113.</b> Sistema DP, mantenint la posició desitjada en popa. Font: Pròpia...	pàg 135
<b>Figura 114.</b> Sistema DP, mantenint la posició desitjada, amb el centre del vaixell. Font: Pròpia .....	pàg 135
<b>Figures 115 i 116.</b> Seguiment del ROV, mantenint la popa Font: pròpia.....	pàg 136
<b>Figures 117.</b> Ruta automàtica fins a un punt concret, i mantenir la posició un cop en ella. Font: pròpia .....	pàg 136
<b>Figura 118.</b> Esquema connexió parc eòlic offshore. Font: <a href="http://news.bbc.co.uk">http://news.bbc.co.uk</a> .....	pàg 137
<b>Figura 119.</b> Mapa de la connexió d'un parc eòlic <i>offshore</i> Font:eco.microsiervos.com .....	pàg 137
<b>Figura 120.</b> Subestació amb <i>monopile</i> . Font DongEnergy.....	pàg 138
<b>Figura 121.</b> Subestació amb <i>jacket</i> . Font: Alpha Ventus .....	pàg 138
<b>Figura 122.</b> Esquema subestació <i>offshore</i> . Font: thecrownestate .....	pàg 139
<b>Figura 123.</b> Descripció subestació Alpha Ventus. Font: Alpha Ventus.....	pàg 140
<b>Figura 124.</b> Plànols subestació Apha Ventus. Font: Alpha Ventus.....	pàg 141

## I - INTRODUCCIÓ

Des de fa molts anys l'energia eòlica ha estat utilitzada com a font d'energia alternativa al petroli i a altres energies renovables. La gran majoria de l'energia eòlica és i ha estat generada per aerogeneradors eòlics instal·lats a terra, ja que els costos per crear un parc eòlic a terra són molt inferiors als *offshore*. Els parcs eòlics *offshore* incrementen els costos en la instal·lació i el manteniment dels aerogeneradors, ja que per a realitzar aquestes tasques són necessàries una gran infraestructura de vaixells i personal, però aconsegueixen crear més energia i en conseqüència major rendiment, ja que al mar el vent és més constant que a terra.

Els últims anys l'energia eòlica *offshore* està en creixement, sobretot al nord d'Europa, Estats Units i la Xina. S'estan creant nous vaixells específics per als parcs eòlics i així poder instal·lar els aerogeneradors d'una forma més ràpida i eficient. Gràcies a aquest desenvolupament s'aconsegueix reduir els costos, sobretot els d'instal·lació, i poder competir amb la resta de parcs eòlics i energies renovables que estan instal·lades a terra.

Un dels motius pels que Espanya no té encara cap parc eòlic *offshore* instal·lat, és per les condicions del fons marí i les grans profunditats en que es troba. Avui en dia els parcs eòlics *offshore* que s'instal·len són amb aerogeneradors amb cimentacions clavades als fons marí, i això implica una limitació de profunditat, fent que no siguin aptes per a grans profunditats. A Espanya, la gran majoria de possibles localitats per a la instal·lació tenen profunditats massa grans per a aquests tipus de cimentacions, fet que requereix buscar alternatives. Un mètode que està en desenvolupament són els aerogeneradors flotants, aconseguint que es puguin instal·lar sense límit de profunditat del sòl marí. Hi ha diferents propostes per a fer instal·lacions d'aquest tipus a les costes espanyoles, però totes elles encara en fase de desenvolupament. El projecte Zefir intenta instal·lar un parc eòlic *offshore* a les costes catalanes, a l'Ametlla de Mar, amb aerogeneradors ancorats a 40 metres de profunditat.

## II - OBJECTIUS DEL TREBALL

Aquest treball es basa en la construcció d'un parc eòlic *offshore* i els seus objectius són avaluar i descriure la metodologia per a la instal·lació i el manteniment del parc eòlic, estudiant principalment quina serà la flota necessària per dur a terme aquestes tasques. L'estudi dels diferents vaixells involucrats inclou una descripció de les seves característiques i del funcionament de cada un d'ells.

Per altra banda s'avaluaran les diferents opcions de configuració i transport dels aerogeneradors, per tal de millorar l'efectivitat en el transport i el temps d'instal·lació.

Gràcies a l'avaluació de la flota necessària per la creació d'un parc eòlic *offshore* i de les característiques òptimes del fons marí, es podrà determinar quins vaixells faran falta construir a les drassanes espanyoles, per tal d'instal·lar futurs parcs eòlics *offshore*.

## III - ESTRUCTURA DEL TREBALL

El treball es divideix en tres parts. La primera es basa en la descripció de l'energia eòlica per contextualitzar el tema principal del treball i l'estat de l'art de la mateixa a Europa i Espanya. I per tal de familiaritzar-nos amb les característiques i nomenclatura dels aerogeneradors, s'expliquen les seves parts i funcionament, així com també les diferents maneres que hi ha de fondejar-los.

A la segona part, la més important del treball, s'avaluen les diferents configuracions possibles a l'hora de transportar i instal·lar un aerogenerador a alta mar. S'elabora un descripció específica sobre tota la flota que es necessitarà per la construcció d'una planta eòlica marina, i per a cada vaixell es fa una explicació dels seus requisits i la seva operativa. També veurem com s'han d'adaptar els ports, per tal de poder dur a terme la instal·lació i el manteniment necessari del parc eòlic.

A la tercera part, es descriu un projecte d'instal·lació d'un parc eòlic *offshore* flotant. S'explica quins seran els vaixells necessaris per instal·lar l'aerogenerador i quin procediment es durà a terme.

## - PART 1 -

### 1. L'ENERGIA EÒLICA

#### 1.1. Descripció

L'energia eòlica és l'energia obtinguda del vent, és a dir, l'energia cinètica generada per l'efecte dels corrents d'aire, i que és transformada en altres formes útils per a les activitats humanes.

En l'actualitat, l'energia eòlica és utilitzada principalment per a produir energia elèctrica mitjançant aerogeneradors. L'energia del vent és utilitzada mitjançant l'ús de màquines eòliques (o aeromotors) capaços de transformar l'energia eòlica en energia mecànica de rotació utilitzable, ja sigui per accionar directament màquines com per a la producció d'energia elèctrica. Per exemple, s'utilitza per moure els vaixells impulsats per veles o fer funcionar la maquinària de molins en moure les seves aspes.

L'extracció de l'energia del vent es pot considerar a l'actualitat una tecnologia ja establerta, capaç de produir electricitat a uns costos molt propers als obtinguts a través de fonts convencionals. Això és sobretot en aquells llocs on es produeixen vents amb velocitats apropiades (8-12m/s) durant períodes prolongats de temps o en sistemes elèctrics petits.

La potència eòlica s'obté principalment mitjançant la utilització d'aerogeneradors o turbines eòliques, d'eix horitzontal i amb tres pales, ja que es consideren menys impactants visualment. La potència extreta del vent és proporcional a l'àrea recorreguda per les pales quan giren, a la densitat de l'aire i a la potència de la velocitat del vent. D'aquí la gran importància que té el fet d'elaborar una avaluació prèvia dels vents del lloc on es pretén instal·lar la planta eòlica.

La major part dels aerogeneradors s'instal·len a terra i aquest tipus d'instal·lació s'anomena *onshore*, però cada vegada s'està considerant més la seva col·locació al mar i lluny de la costa a llocs d'aigües no molt profundes. Aquests s'anomenen *offshore*. Això és degut a que al mar la velocitat del vent a una determinada altura de la superfície és, en general, una mica superior que a la mateixa altura a terra i, a més a

més, és més constant, predictable i amb menys turbulències. Per altra banda, els millors emplaçaments *onshore* en molts dels països desenvolupats ja han estat ocupats. Les tecnologies relacionades amb els aerogeneradors marins estan menys evolucionades que les dels instal·lats a terra, ja que els primers impliquen un major esforç tecnològic i de manteniment.

## **1.2. Altres usos i aplicacions de l'energia eòlica**

### **1.2.1. Generació elèctrica a escala "mini"**

Si bé els aerogeneradors s'han tornat cada vegada més grans, hi ha una variant de màquines que s'ha negat a créixer. Són les turbines d'una potència inferior als 10 kW, una de les joies dels defensors de la generació elèctrica a escala "mini".

Tot i que la producció d'energia d'aquesta tecnologia és limitada, pot ser suficient per cobrir petits consums i té un bon nombre d'avantatges respecte a la gran eòlica:

- Pot subministrar electricitat a llocs aïllats i allunyats de la xarxa elèctrica.
- Causa un impacte visual molt menor que les màquines grans.
- Genera l'energia junt als punts de consum, pel que es redueixen les pèrdues.
- És accessible a molts usuaris, sense necessitar obra civil, i la seva instal·lació és senzilla.
- Funciona amb vents moderats i no requereix estudis de viabilitat complicats.

### **1.2.2. Bombeig d'aigua**

A part de la generació elèctrica, la tecnologia eòlica pot tenir altres aplicacions importants. Un exemple és l'extracció d'aigua del subsòl, pel que resulten especialment interessants els molins multipala de bombeig, unes màquines que no han canviat pràcticament des de fa més d'un segle.

Aquestes aerobombes, el par d'arrencament del qual és alt, funcionen bé amb vents fluixos o mitjos, molt estables i amb poques ràfegues. En general, compten amb un número de pales d'entre 12 i 24, tot i que poden tenir-ne més, i el seu màxim rendiment aerodinàmic arriba al 30%, mantenint-se aquest valor pràcticament constant des de l'arrencament fins una velocitat de vent incident de 12 m/s, on llavors arriba a la màxima potència, per després disminuir ràpidament fins la parada del molí a uns 20m/s.

### **1.2.3. Hidrogen “verd”**

L'hidrogen, la substància més abundant a la naturalesa, que emmagatzema la major quantitat d'energia per unitat de pes, pot ser el combustible que destroni al petroli, però té un inconvenient; no es troba lliure.

Per obtenir-lo es requereix gran quantitat d'energia. L'energia eòlica ja ha demostrat que pot generar tanta electricitat com es vulgui, i sense contaminar, però també té un inconvenient; com que depèn del vent no sempre produeix l'energia quan es necessita. Els experts estan d'acord que la combinació d'aquestes dos elements pot representar la revolució energètica del segle XXI: l'hidrogen “verd”.

En el cas de l'eòlica, quan hi hagués vent es podria utilitzar l'electricitat generada pels aerogeneradors per extreure hidrogen de l'aigua mitjançant un procés d'electròlisi. Això tindrà una gran avantatge i és que es podria emmagatzemar per utilitzar-lo com a combustible que no hi hagués vent i els aerogeneradors estiguessin parats.

De moment només es tracta d'una hipòtesi de futur, ja que en tot aquest procés s'ocasionen moltes pèrdues, però són moltes les empreses i centres d'investigació que estudien la manera d'obtenir hidrogen a partir d'energies netes, com la eòlica.

### **1.2.4. Dessalinització**

El debat polític al voltant de la manca d'aigua a Espanya ha obert investigacions sobre altres possibles aplicacions de l'energia eòlica: la dessalinització. Mitjançant l'aplicació del sistema d'osmosi inversa, actualment es pot dessalar aigua de mar amb preus al voltant dels 60 cèntims d'euro el metre cúbic. No obstant, les dessalinitzadores no han resolt encara la qüestió del consum elèctric. Avui dia les millors plantes necessiten un mínim de 4kW per dessalar cada metre cúbic, una quantitat molt menor que fa anys, però encara massa alta en termes de contaminació i emissions de CO<sub>2</sub>.

La clau per solucionar aquest problema, i per tant bona part també de la manca d'aigua, pot estar de nou en les energies renovables, i en concret l'eòlica, ja que la quantitat d'electricitat consumida per aquestes instal·lacions quedaria en un segon pla si aquesta fos generada d'una manera “neta”.

## 2. COMPARACIÓ ENTRE L'ENERGIA EÒLICA *OFFSHORE* RESPECTE LA *ONSHORE*

### 2.1. Avantatges

El medi marí té unes qualitats que el fan ser idoni per instal·lar turbines eòliques:

- Al mar no hi ha obstacles que puguin reduir la velocitat del vent, per tant, es pot produir més electricitat perquè la velocitat del vent és major i més constant.
- Hi ha menys turbulència ambiental, la qual cosa fa que disminueixi la fatiga d'un aerogenerador i conseqüentment augmenti la seva vida útil.
- Disposen d'enormes espais on col·locar aerogeneradors, el que ofereix la possibilitat d'instal·lar parcs molt més grans que a terra.
- Redueix l'impacte visual sobre el paisatge, en trobar-se més allunyats dels nuclis urbans.
- Aquesta llunyania també fa que el soroll deixi de suposar un problema, de manera que es pot augmentar la velocitat punta de pala, amb la corresponent disminució del seu pes i de les estructures, fent possible una reducció del cost de fabricació.

### 2.2. Inconvenients

No obstant això el punt anterior, els parcs eòlics marins, tenen també importants desavantatges respecte als terrestres:

- El principal inconvenient és el seu elevat cost. Els costos d'instal·lació, operació i manteniment de l'energia eòlica *offshore* són majors que els de la *onshore*. S'estima que actualment resulta un 20% més car produir electricitat al mar que a terra i a diferència de la *onshore*, no es considera tan competitiva. No obstant això, cal tenir en compte que es tracta d'una tecnologia recent i amb un gran potencial per a la reducció de costos. Igual que va passar amb l'energia eòlica *onshore*, el suport econòmic dels governs serà clau per fer-la més competitiva.

- No hi ha infraestructures elèctriques que connectin les àrees amb majors recursos eòlics al mig del mar amb els centres de consum.
- És molt més complicat accedir i treballar enmig del mar.
- L'avaluació del recurs eòlic és més complexa i molt més cara que a terra.
- Els costos i dificultats augmenten en funció de la profunditat marina.

### 2.3. Desglossament dels costos segons el tipus d'instal·lació

Els costos d'inversió totals per instal·lacions *onshore* oscil·len entre els 1000 – 2000€/kW. Si desglossem els costos de les instal·lacions *onshore*, les turbines representen les tres quartes parts dels costos totals, oscil·lant entre els 940€/kW i els 1450€/kW. És important mencionar la gran diferència de costos entre les instal·lacions *onshore* i *offshore*, ja que les *offshore* són un mínim d'un 20% més cares per unitat de potència instal·lada, i els preus de cimentació un mínim de 2,5 vegades superior per una turbina de la mateixa mida.

En aquest punt s'ha de senyalar que els costos d'operació i manteniment, especialment en quan a tecnologia *offshore*, són molt poc accessibles.

<b>TURBINA ONSHORE</b>	<b>%cost total</b>	<b>TURBINA OFFSHORE</b>	<b>%cost total</b>
Turbina	74 - 82	Turbina, inclòs transport i instal·lació	49
Cimentació	1 – 6	Cimentació	20
Instal·lació elèctrica	1 – 9	Connexió interna entre turbines	5
Connexió a la xarxa	2 – 9	Transformador i cable a la costa	16
Consultoria	1 – 3	Disseny i gestió del projecte	6
Terreny	1 – 3	Anàlisi mediambiental	3
Costos financers	1 – 5	Altres	1
Construcció de carretera	1 – 5		

**Taula 1.** Estructura percentual dels costos d'inversió d'instal·lacions eòliques onshore i *offshore*.

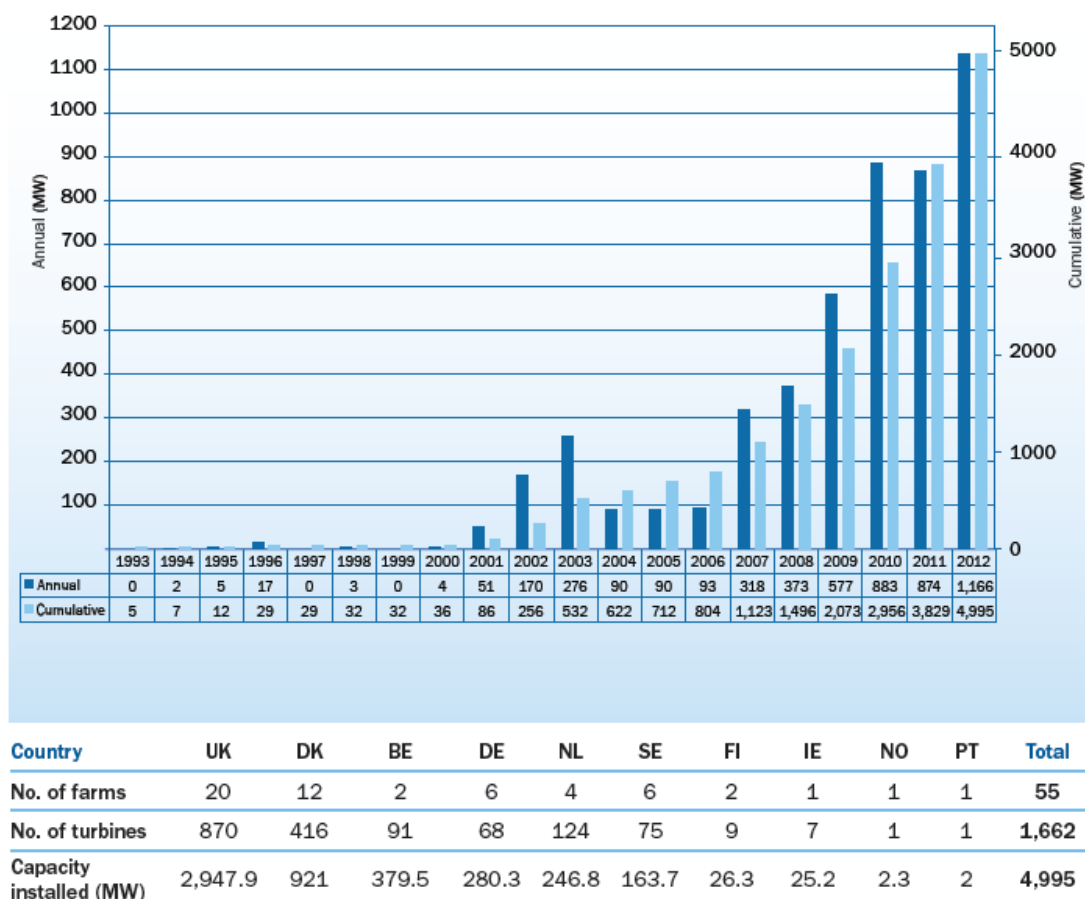


### 3. SITUACIÓ ACTUAL D'ENERGIA EÒLICA OFFSHORE A EUROPA I PRINCIPALS PARCS

L'any 2011 es van instal·lar 348,1MW de potència eòlica *offshore* a la Unió Europea (en contrast dels 3.811MW terrestres instal·lats al mateix període) distribuïts en set parcs eòlics, dels quals el Regne Unit va encapçalar en la potència eòlica instal·lada, superant per primer cop Dinamarca. L'activitat va ser dominada principalment pels treballs als parcs marins de *Inner Dowsing* i *Linn*, al Regne Unit, i el *Princess Amalia* a Holanda. D'altra banda també es troben en ple desenvolupament el *Phase I* a Bèlgica, juntament amb dos parcs eòlics a la línia de costa de Finlàndia i Alemanya.

Durant el primer semestre de l'any 2012 es van instal·lar a Europa 132 aerogeneradors marins nous, i a finals de 2012 la capacitat total instal·lada va arribar a 4.995 MW, produint 18TW/h en un any normal de vent, prou per cobrir el 0,5% de consum total d'electricitat de la UE.

Aquesta potència es troba distribuïda en 10 països, 9 d'ells del nord d'Europa, i encara no existeix cap parc eòlic en el Mediterrani. El Regne Unit té la major quantitat de capacitat eòlica *offshore* instal·lada a Europa (2.947,9 MW): el 58,9% de totes les instal·lacions. Dinamarca segueix amb 921 MW (18,4%). Amb 380 MW (7,6% del total de les instal·lacions europees), Bèlgica és tercer, seguit per Alemanya (280 MW: 5,6%), els Països Baixos (246,8 MW: 4,9%), Suècia (163,7 MW: 3,3%), Finlàndia (26,3 MW: 0,6%), Irlanda (25,2 MW), Noruega (2,3 MW) i Portugal (2MW).



**Figura 1.** Nombre d'instal·lacions *offshore* anuals a Europa i potència. Font: EWEA.

### 3.1. Situació a Espanya

Avui en dia encara no existeix un parc eòlic *offshore* al Mediterrani i una de les principals causes és la gran profunditat del mar a prop de la costa. Des del Protocol de Kioto, un conveni internacional de la prevenció del canvi climàtic, els països han estat unint forces per assolir els objectius plantejats. Espanya, encara que actualment no ha assolit el seu objectiu, sí que s'ha mostrat interessada en incentivar el desenvolupament d'energies netes. En general és considerat un país pioner en el desenvolupament de parcs de generació d'energia eòlica *onshore*, i amb els seu compromís mediambiental i abocant els principis de seguretat i qualitat de subministrament, que es veuen traduïts en sostenibilitat, s'ha mostrat compromesa amb el desenvolupament d'energies alternatives, entre les quals es vol destacar la generació d'energia eòlica *offshore*.

A inicis del 2012 es va començar a desenvolupar el projecte experimental Zèfir, a la costa tarragonina, el qual es basa en la instal·lació d'un parc eòlic de dues fases; la primera consta de la instal·lació de quatre aerogeneradors ancorats amb una capacitat de producció de 20MW, i la segona consta amb la previsió de vuit aerogeneradors flotants amb una potència màxima de 50MW, a una distància de 20km de la costa.

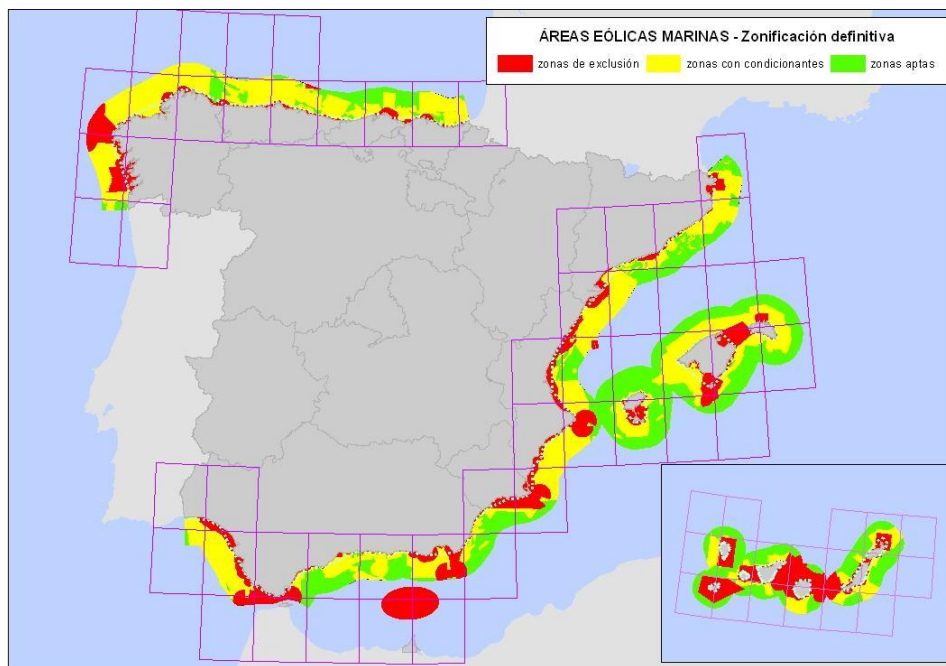
Actualment són diverses les empreses interessades en el desenvolupament de l'energia eòlica *offshore*. Destaquem IBERDROLA Renovables, que ha presentat la sol·licitud de reserva de zones per dur a terme estudis previs a la petició d'autorització dels projectes. La companyia ha presentat les seves propostes de desenvolupar projectes d'energia eòlica marina a la costa espanyola al Ministeri d'Indústria d'acord amb la regulació actual, que estableix un marc retributiu per aquestes instal·lacions i que assolirà una potència total de 3000MW.

Hi ha altres empreses que també han demostrat el seu interès per aquest tipus d'instal·lacions al litoral espanyol com ara Capital Energy Offshore (CEOWIND), creada l'any 2002 amb l'objectiu de promoure projectes de generació d'energia a partir de fonts renovables, principalment parcs eòlics marins.

Una altra empresa és Acciona, companyia dedicada a la promoció, construcció, explotació i manteniment d'instal·lacions d'energies renovables.

Un tercer exemple és Enel Union Fenosa Renovables (EUFER), companyia participada al 50% per Union Fenosa, S.A. i Enel SpA., on les dues companyies canalitzen noves inversions en projectes d'energies renovables i cogeneració a Espanya i Portugal, centrant la seva activitat en la promoció, disseny, construcció, finançament i operació d'instal·lacions basades en energies netes i renovables.

### 3.2. Possibles localitats



**Figura 2.** Mapa de possibles àrees eòliques marines a Espanya. Font: Urbanity.

Aquest mapa del litoral espanyol constitueix un mecanisme preventiu de protecció del medi marí. A partir d'ara, les sol·licituds de reserva de zona dels promotors de parcs marins només podran realitzar-se dins de les zones declarades “aptes”. Els requisits principals perquè una zona sigui considerada apta són:

- No ser una zona protegida ecològicament.
- Sòl marí adequat per la instal·lació.
- Aigües poc profundes.
- Condicions de vent adequades per a la generació d'energia.

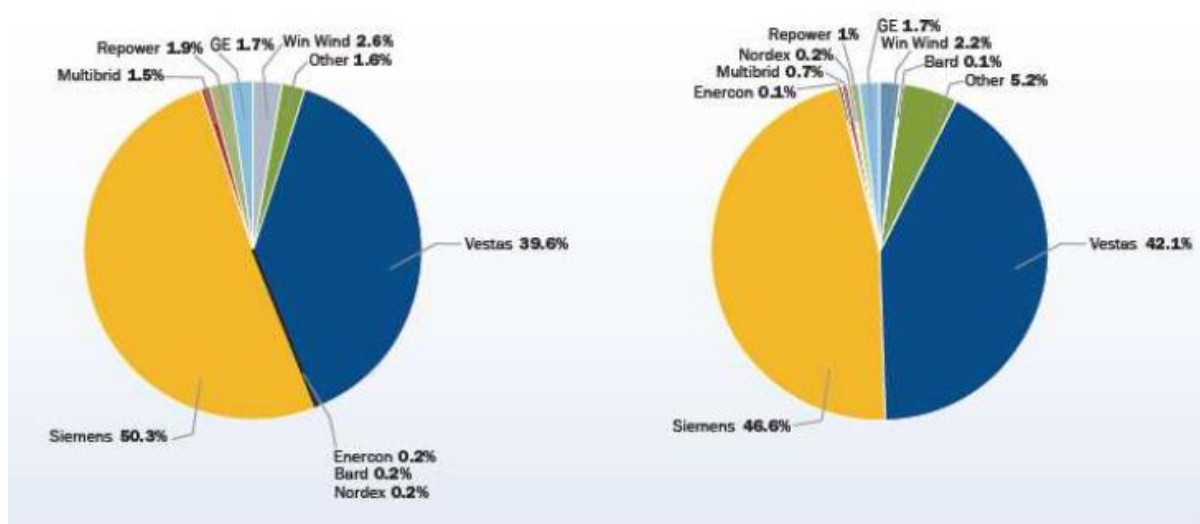
El procediment per atorgar una llicència exigeix que els promotors presentin una oferta de retribució a la baixa respecte a la prima de referència, és a dir, que el promotor que presenti un MW més barat serà el que se li adjudicarà el concurs a les zones aptes.

### 3.3. Principals fabricants

A la indústria eòlica hi ha molts fabricants de turbines eòliques, però quan hom es centra en la indústria eòlica marina, el nombre de fabricants disminueix considerablement.

El motiu d'això és que la indústria eòlica terrestre està completament desenvolupada i ja ha assolit un important grau de maduresa, en canvi la eòlica marina tot just es pot considerar que està sortint de l'etapa de recerca i desenvolupament. A més les característiques físiques són diferents, ja que en l'eòlica terrestre és convenient construir una torre amb una alçada de caixa superior a la marina degut al cisallament, en canvi en la eòlica marina, al tenir un menor cisallament permetrà tenir una menor alçada de caixa i en comparació un major diàmetre, arribant a la relació d'una alçada de caixa igual a 0,75 vegades el diàmetre de les aspes.

Tots aquests condicionants són els que fan que els fabricants s'hagin d'especialitzar pràcticament en una cadena de muntatge exclusiva per a la fabricació de turbines *offshore*. D'aquí que els únics fabricants que s'hagin introduït en el món de la eòlica marina siguin segons la "European Offshore Wind Industry" els següents:



**Figura 3.** Rati de mercat per fabricants. En MW (esquerra), en nombre de turbines (dreta). Font: EWEA.

Com s'observa, els principals fabricants són Vestas (danès) i Siemens (alemany) que controlen pràcticament un 90% del mercat Europeu.

## **4. AEROGENERADORS**

### **4.1. Funcionament d'un aerogenerador**

El funcionament d'un aerogenerador està caracteritzat per la seva corba de potència que indica el rang de velocitats de vent en les quals pot operar i la potència que pot assolir en cada cas. Tots tenen un element mòbil de captacions de l'energia cinètica del vent, el rotor, que a través d'un eix transmet el moviment a una bomba o a un generador elèctric.

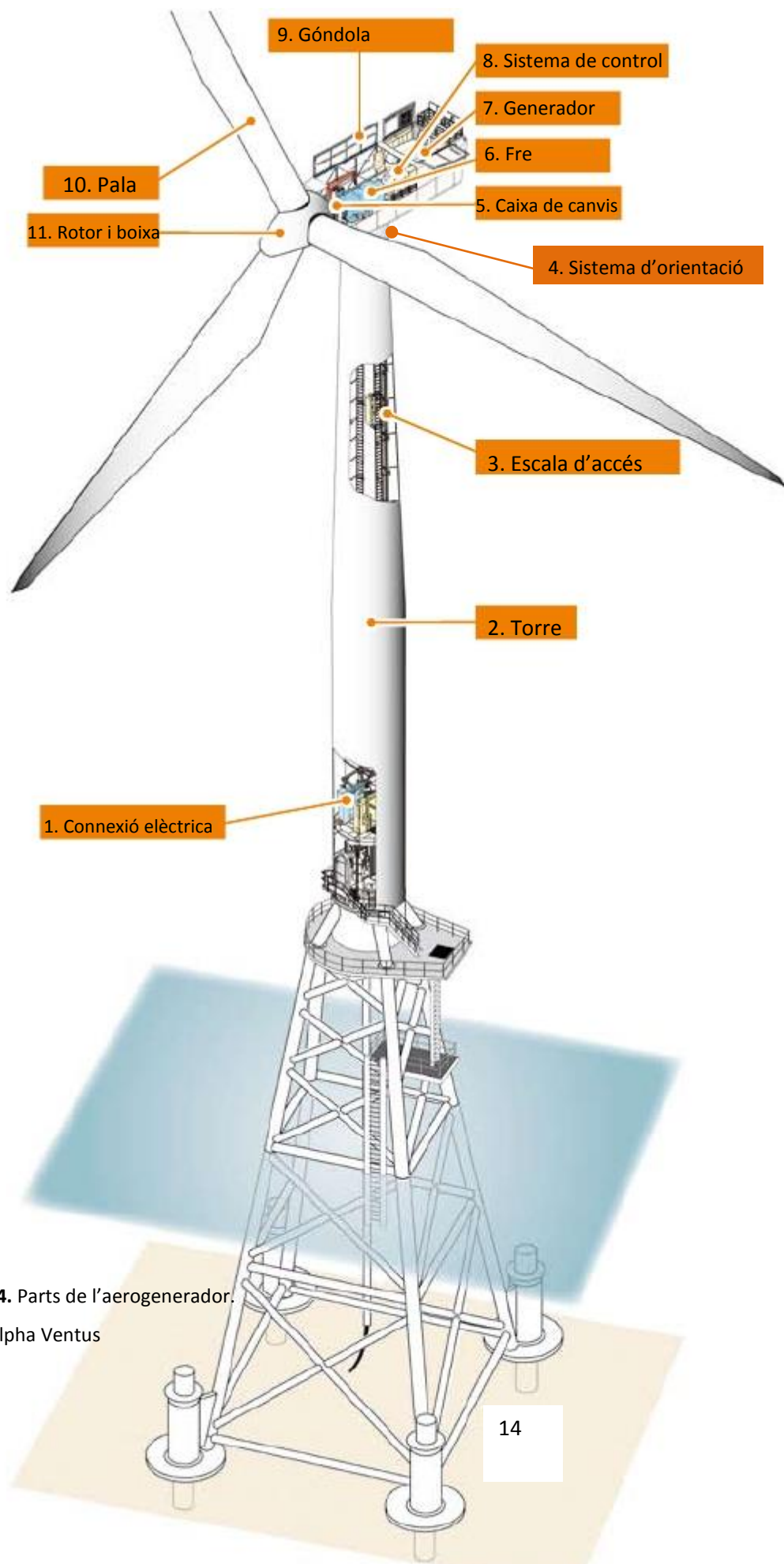
Un aerogenerador d'eix horitzontal és, bàsicament, una màquina rotacional, el moviment de la qual és produït per l'energia cinètica del vent quan aquest actua sobre un rotor que normalment disposa de tres pales. El vent, incideix perpendicularment sobre les pales de l'aerogenerador i degut a la diferència de pressions que es produeix entre la cara activa i la passiva de la pala, es genera una força que permet el moviment rotatori de les pales. Això és degut a que la part posterior de la pala és molt més corbada que la part anterior, pel que quan el vent incideix sobre la pala, en haver més superfície a la part posterior, la velocitat augmentarà. A més a més, com que la pala té un angle d'incidència entre la direcció del vent i l'eix de la secció, també hi haurà una empenta.

El moviment rotacional produït és transmès i multiplicat mitjançant un multiplicador de velocitat fins un generador que produeix l'energia elèctrica. Tots aquests components s'instal·len sobre una góndola que es situa dalt d'una torre de suport.

Cada aerogenerador disposa d'un microprocessador que controla i regula les seves variables de posada en marxa, funcionament i aturada, transmetent tota aquesta informació a la central de control de la instal·lació. Igualment, cada aerogenerador incorpora, a la base de la torre, un armari amb tots els components elèctrics previstes al transport de l'energia elèctrica generada fins la connexió amb la xarxa o els punts de consum, com interruptors automàtics, transformadors d'intensitat, proteccions de sobretensió, etc.

L'energia obtinguda per un aerogenerador determinat depèn bàsicament de la potència del vent travessant el rotor i és directament proporcional a la densitat de l'aire, la superfície escombrada per les seves pales i la velocitat del vent.

## 4.2. Parts d'un aerogenerador



**Figura 4.** Parts de l'aerogenerador.

Font: Alpha Ventus

**1. Connexió elèctrica:** és on es troba el centre de transformació de l'aerogenerador, que consta de la celda de mitja tensió que comunica l'aerogenerador amb la resta de la instal·lació del parc i el transformador situat a l'interior del mateix.

**2. Torre:** és l'element encarregat de sostenir la turbina i ha de ser capaç de suportar les forces provocades pel vent, així com les vibracions i altres fenòmens com poden ser raigs, corrosió per aigua de mar, formació de gel, etc. Generalment és una avantatge disposar d'una torre alta, donat que la velocitat del vent augmenta conforme ens allunyem del nivell del terra. Una turbina moderna de 2MW tindrà una torre d'entre 67 i 100 metres.

Les torres poden ser tubulars o de gelosia. Les tubulars són més segures pel personal de manteniment ja que poden utilitzar una escala interior per accedir a la part superior de la turbina. La principal avantatge de les de gelosia és que són més barates.



**Figura 5.** Torre. Font: portstrategy.com

**3. Escala d'accés:** és el lloc per on accedeix el personal de manteniment.

**4. Sistema d'orientació:** Degut a que el vent no té sempre una mateixa direcció, l'aerogenerador disposa d'un sistema d'orientació que col·loca el rotor perpendicular a la direcció del vent per aprofitar la seva màxima energia. En funció de l'aerogenerador, el sistema d'orientació estarà dissenyat per tal que l'aerogenerador estigui de cara al vent o d'esquena al vent, tot i que la primera opció és la més utilitzada.



**5. Caixa de canvis:** és una caixa d'engranatges que té la funció de convertir la baixa velocitat de gir del rotor i l'alta potència de l'eix principal en una velocitat de gir adequada pel funcionament del motor a costa de la potència. També ha de suportar les variacions de la velocitat del vent. El gir es transmet del multiplicador al motor mitjançant l'eix secundari, de menor diàmetre que l'eix principal.

La relació de transmissió del multiplicador està determinat pel seu tren d'engranatges, constituït en els aerogeneradors actuals per rodes dentades cilíndriques (d'eixos paral·lels), les dents de les quals quan engranen vinculen les seves freqüències de rotació.



**Figura 6.** Caixa de canvis. Font: hansentransmissions.com

**6. Fre:** s'utilitza en cas de fallada de l'aerogenerador per evitar el seu moviment. En cas de reparació també s'activa per evitar que la turbina es posi en moviment. Està situat entre la multiplicadora i el generador.



**Figura 7.** Fre i generador. Font: agmetalminer.com

**7. Generador:** és l'encarregat de transformar l'energia mecànica en energia elèctrica. Transforma l'energia de rotació que transmeten les pales de la turbina, generant així una corrent alterna trifàsica. Per a turbines de gran potència s'utilitzen més els generadors asincrònics doble alimentats. En aquest cas la velocitat de rotació pot ser variada, a diferència de quan s'utilitzen generadors asincrònics convencionals. Un altre concepte consisteix en utilitzar generadors sincrònics.

#### **8. Sistema de control:**

- Sistema de refrigeració: la seva funció és evacuar la calor del generador i els altres sistemes elèctrics juntament amb totes les parts vitals de la turbina sotmeses a fregament a causa del seu treball, que tot i que estan ben lubricades, l'escalfament podria provocar la seva degradació i possible averia.

A la majoria de turbines la refrigeració es porta a terme mitjançant l'encapsulament del generador en un conducte, utilitzant un gran ventilador per la refrigeració per aire, encara que alguns fabricants utilitzen generadors refrigerats per aigua.

- Anenòmetre: és un aparell dissenyat per mesurar la velocitat del vent. Es troba situat a la part exterior de la góndola.

- Sistema de seguretat: és l'encarregat de disminuir la velocitat del rotor o parar-lo en cas de massa vent o alguna anomalia en el funcionament de l'aerogenerador.

**9. Góndola:** és el conjunt de bastidor i carcassa de l'aerogenerador i es situa a la part superior de la torre. La seva funció és la de protegir els elements bàsics de l'aerogenerador que es troben al seu interior; els elements elèctrics i mecànics necessaris per convertir el gir del rotor en energia elèctrica, incloent el multiplicador i el generador elèctric. Es troba unida a la torre per una corona dentada per permetre la orientació del rotor al vent.



**Figura 8.** Góndola. Font: Alpha Ventus.

**10. Pala:** és important que els materials amb les que estan construïdes ofereixin una gran resistència estructural i a la fatiga pel seu correcte funcionament al llarg dels 25 anys de vida mitja que s'estima als aerogeneradors, tenint en compte que estaran afectades d'inclemències climàtiques, forts vents i salinitat. A més a més han de ser fàcilment mecanitzables per dotar-les d'un disseny aerodinàmic que minimitzi les càrregues sobre la resta de l'estructura i capti eficaçment la força del vent. Els materials utilitzats per complir aquestes premisses són materials compostats de fibra de vidre i epoxi o polièster, fibra de carboni, etc.



**Figura 9.** Pala. Font: michiganradio.org

## 11. Rotor i caixa:

- Rotor: és l'element que permet el moviment de rotació de l'aerogenerador. Està format principalment per les pales —encarregades de captar l'energia cinètica del vent— i un caixa que transmet el moviment de rotació a un eix que connecta amb la caixa de canvis. Depenent de l'aerogenerador, podrà disposar d'un sistema de pales de pas variable o de pas fix. En el cas de les de pas variable permetrà modificar la seva orientació en funció del vent per aconseguir sempre el màxim rendiment. És un dels components més crítics de l'aerogenerador, ja que en pales de gran longitud, que permeten un millor aprofitament de l'energia, les altes velocitats que s'assoleixen als extrems porten al límit la resistència dels materials amb què estan fabricades (usualment fibra de vidre i polièster).

- Caixa: consisteix en una esfera buida tallada per tres plans en els que es conformen les brides d'unió als rodaments de la pala. És la peça d'unió entre les pales i l'eix principal i, per tant, el transmissor de la força del vent a l'interior de la góndola. La unió a l'eix ha de ser de forma rígida, però amb les pales poden donar-se dos casos; si és un generador de tres pales la unió també ha de ser rígida, però en el cas d'aerogeneradors bipala és necessari que la unió entre pales i caixa permeti una lleugera oscil·lació de fins a tres graus respecte el pla normal de l'eix de rotació.



Figures 10 i 11. Caixa. Font: eurotrib.com

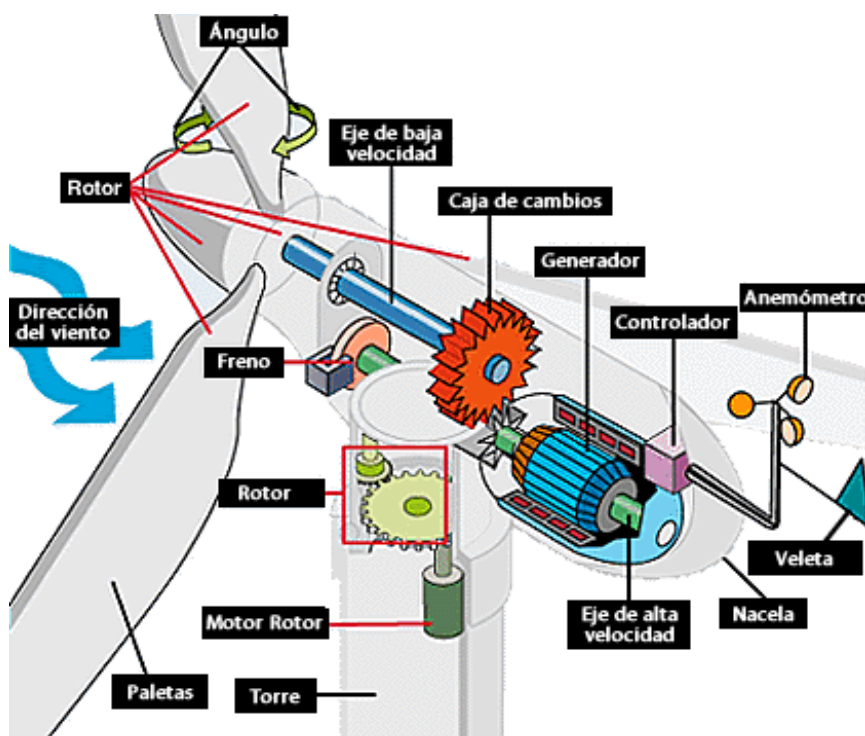


Figura 12. Parts mecàniques de la góndola i rotor. Font: Renovables Wordpress.

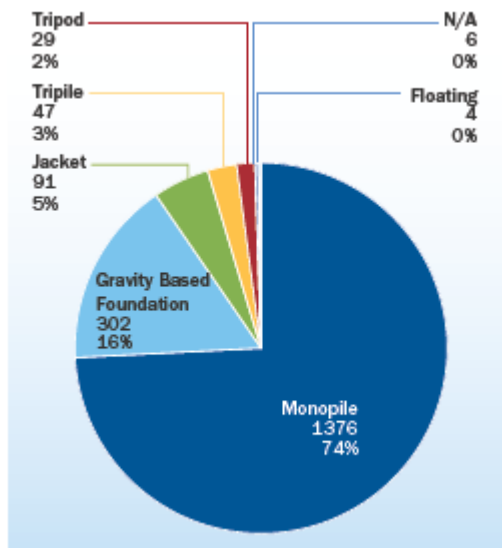
## 5. TIPUS DE CIMENTACIONS, BASES I ANCLATGES

La major part de les instal·lacions *offshore* s'han construït en aigües poc profundes (menys d'uns 25m) i relativament properes a la costa (generalment a menys de 20km).

El límit de profunditat de l'aigua s'estableix avui dia en menys de 50m, ja que el preu de la instal·lació augmenta molt ràpidament amb la profunditat.

El principal problema a nivell tecnològic en la indústria *offshore* són les cimentacions, ja que la tecnologia actual està limitada a una certa profunditat. La distribució actual dels tipus de cimentacions utilitzades en la construcció de parcs *offshore* segons la "European Offshore Wind Industry" la mostra la Figura 6, on s'observa que el tipus de cimentacions més utilitzats són els *monopile* en un 74% dels casos, degut a que és el tipus de cimentació més òptima per a profunditats baixes (fins a 30 metres) que és on justament es troben ubicats la gran majoria de parcs eòlics marítims. Tot seguit del *monopile* ve la cimentació tipus *gravity*, aquesta és més costosa però per altra banda permet arribar a profunditats de 40m.

Amb aquestes dades s'arriba a la conclusió que la *monopile* i la *gravity* són les cimentacions dominants en la indústria *offshore* arribant a un 90% del mercat.



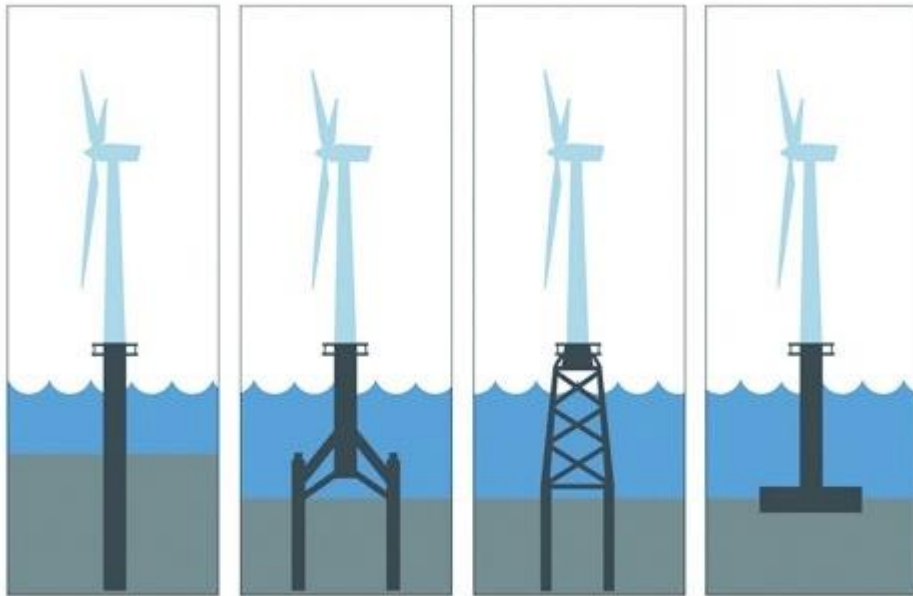
**Figura 13.** Rati de les cimentacions més usades. Font: EWEA.

El monopile consisteix en un allargament del màntil, el que s'arriba a introduir en una perforació al fons submarí. Aquesta tècnica se sol aplicar en els casos d'escassa profunditat, fins a uns 15m.

Per a profunditats una mica més grans és molt comú la cimentació *gravity*, la qual consisteix en una gran base, generalment de formigó, que descansa sobre el fons marí. El nom d'aquest tipus de cimentació deriva del fet de mantenir la turbina en vertical degut a l'efecte de la gravetat.

En cas de profunditats majors, fins a uns 25m, se sol utilitzar la cimentació trípode que fa que la turbina descansi sobre tres o més pilars. Aquesta és menys utilitzada que les dues anteriors.

I per a profunditats encara majors es farà servir la cimentació tipus *jacket*, aquest tipus ja s'utilitza en estructures de perforacions petroleres.

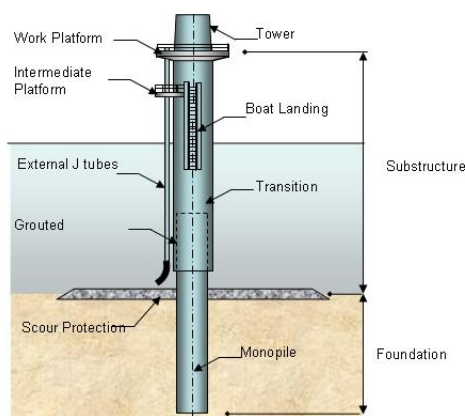


**Figura 14.** Tipus de cimentacions (d'esquerra a dreta): *monopile*, *tripod*, *jacket*, *gravity*. Font: The engineer.

### 5.1. Cimentació *monopile*

Aquest tipus de cimentació és un disseny simple que consisteix en tres components; un pilar d'acer d'entre 3,5 i 5m de diàmetre que es clava al fons del mar, una peça de transició d'acer que es troba a l'extrem superior del pilar i que serveix de subjecció a la torre, i una plataforma per l'accés a la torre.

*Monopile* és actualment la base més comuna en aigües poc profundes (menys de 20 m), a causa del seu baix cost i simplicitat. A més a més té un impacte ambiental mínim i localitzat. No obstant, s'ha de tenir en compte que en funció de les condicions de profunditat i del subsòl seran necessàries unes o altres tècniques per assegurar la fermesa del suport.



En els mercats naixents, com els EUA, i en un futur a curt termini, s'espera que els *monopile* siguin emprats en gran mesura.

**Figura 15.** Cimentació *monopile*. Font: Garrad Hassan and Partners Ltd.

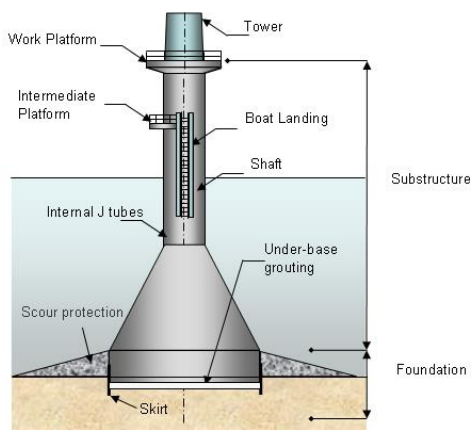


## 5.2. Cimentació *gravity*

Són estructures de formigó que estan unides a l'aerogenerador i utilitzen el seu pes per resistir el vent i la càrrega d'ona. Al principi, el bloc de formigó està buit en el seu interior, per tant, flota. D'aquesta manera pot ser arrastrat fins al punt d'instal·lació, on s'omple de sorra, formigó i grava i així s'aconsegueix assentar-lo al fons marí, que s'haurà preparat prèviament per tal que accepti l'estructura. Degut al gran pes del conjunt del bloc, aquest és capaç de suportar les adversitats produïdes per les ones i el vent que actuen sobre l'estructura.

Les cimentacions *gravity* són menys costoses de construir que els monopile, però els costos d'instal·lació són més alts, degut en gran part a la necessitat de dragatge i la preparació del subsòl, i l'ús de vaixells especialitzats en càrrega pesada.

Aquest tipus de cimentacions s'han utilitzat en diversos parcs eòlics *offshore* com ara Middelgrunden, Nysted, Thornton Bank i Lillgrund. Les cimentacions *gravity* més profundes en operació estan a Thornton Bank (27 m).



Al Mar del Nord, les *gravity* també s'han utilitzat en la indústria de petroli i gas, però als EUA no hi ha hagut aquesta utilització i tampoc hi ha plans d'utilitzar-les en el desenvolupament de l'energia eòlica *offshore*.

**Figura 16.** Cimentació *gravity*. Font: Garrad Hassan and Partners Ltd.

## 5.3. Cimentació *tripod*

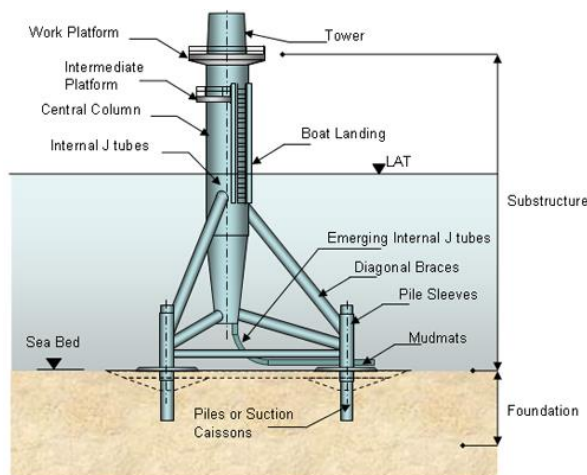
Consta d'un eix central d'acer connectat a tres tubs cilíndrics també d'acer ancorats al fons marí per oferir una fixació segura i impedir el seu moviment.



Els *tripod* s'elaboren amb un patró més robust que els *monopile* i són més pesats i més car de fabricar, però són més útils que els *monopile* en aigües més profundes (per sobre de 25 m). En cas de calats poc profunds hi ha el problema que els vaixells de servei i manteniment xoquin amb l'estructura.

Amb aquest sistema és necessari omplir amb llast el cilindre central del suport i això fa que no es requereixi una preparació explícita del sòl marí per la seva instal·lació.

El projecte de Alpha Ventus és l'únic parc eòlic operatiu que ha utilitzat bases *tripod*.



**Figura 17.** Cimentació *tripod*. Font: Garrad Hassan and Partners Ltd.

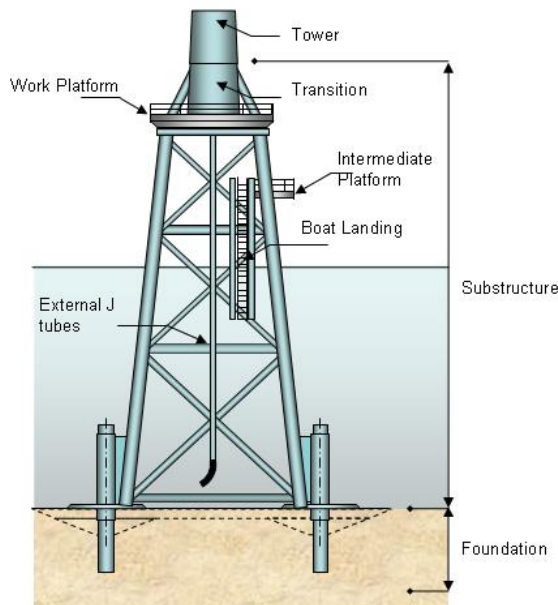
#### 5.4. Cimentació *jacket*

Consisteixen en un enreixat d'acer, similar al d'una torre d'alta tensió. Aquesta estructura característica redueix l'acer necessari a l'hora de realitzar la construcció en comparació amb altres sistemes, per tant, amb una menor quantitat de material s'obtinguen resistències semblants. Està fixada al sòl marí mitjançant quatre pilons per tal d'assegurar l'estructura contra les forces laterals. Les *jacket* són estructures sòlides i pesades i requereixen equips costosos de transportar i aixecar. Al voltant dels 50 m, són necessàries les estructures *jacket*.

Aquest tipus de cimentacions s'han utilitzat en dos parcs eòlics, els més profunds; Beatrice (45 m) i Alpha Ventus (30 m). També són d'ús general per a donar suport a les subestacions en alta mar.

Teòricament, els jacket es poden utilitzar en aigües profundes (superior a 100 metres), encara que per consideracions econòmiques es limita el seu desplegament en aigües de menys de 100 m.

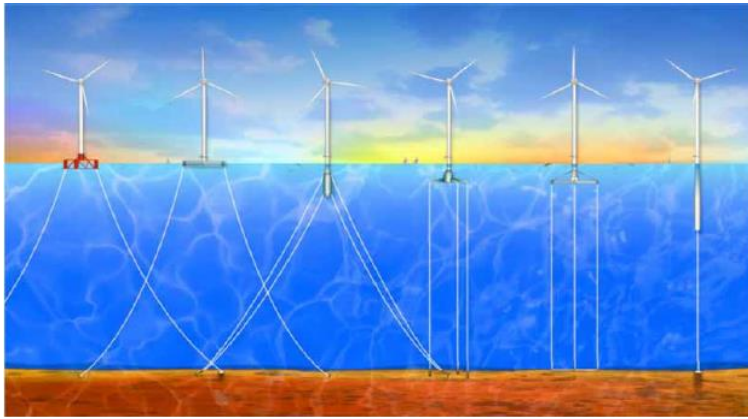
Igual que en el cas de les *tripod*, té les mateixes avantatges i inconvenients en relació al procés de col·locació i als problemes per calats poc profunds.



**Figura 18.** Cimentació *jacket*. Font: Garrad Hassan and Partners Ltd.

## 5.5. Estructures flotants

La gran majoria de parcs eòlics marins construïts fins al moment, han estat construïts amb les cimentacions explicades anteriorment. L'energia eòlica *offshore* es troba en un procés de desenvolupament i creixement a tot el món, i està previst que en els propers anys aquesta energia sigui cada cop més important. Per això, les cimentacions explicades anteriorment i la seva limitació per crear parcs eòlics marins en zones molt profundes, limiten aquest creixement. Per aquest motiu s'estan estudiant i desenvolupant noves bases que són estructures flotants, que presenten avantatges en diferents aspectes respecte les altres bases.



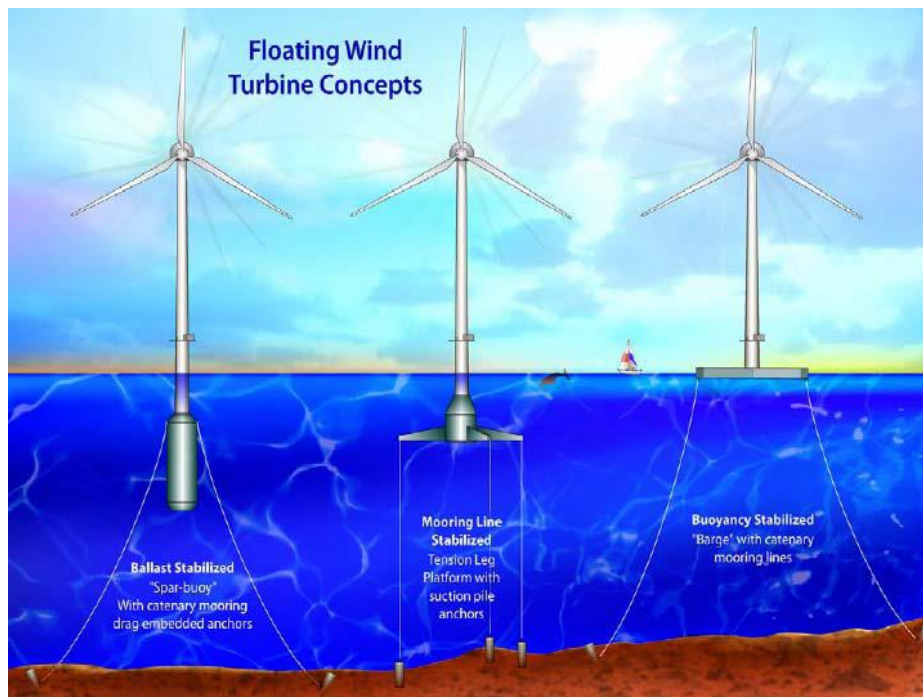
**Figura 19.** Exemple d'estructures flotants. Font: eaem.co.uk

#### **5.5.1. Avantatges de les estructures flotants:**

- Amplia de manera important els potencials dels llocs d'ubicació.
- Redueix l'impacte visual.
- En profunditats intermitges els costos podrien arribar a ser semblants als de les estructures fixes.
- Major flexibilitat en el procés constructiu i d'instal·lació.
- Més fàcil desinstal·lació.

#### **5.5.2. Inconvenients de les estructures flotants:**

- Major complexitat en el disseny.
- És necessari minimitzar el moviment de la turbina per l'acció conjunta de vent i onatge.
- Es necessari millorar les nostres capacitats per modelar el moviment acoblat de l'estructura suport i la turbina.
- La infraestructura elèctrica presenta nous reptes.
- Els procediments de construcció, instal·lació i manteniment.



**Figura 20.** Estructures flotants descrites. Font: [geo.eng.cam.ac.uk](http://geo.eng.cam.ac.uk)

### 5.5.3. Estructura flotant *Ballast Stabilized Spar-Buoy*

Consisteix en un gran casc cilíndric a la part inferior fabricat d'acer o de formigó. L'estructura va ancorada amb uns cables al fons marí que redueix el seu moviment. De les tres opcions que podem veure a la figura 13, aquesta és la que té un major calat, pel que serà necessari una major profunditat del fons marí per poder ser utilitzada. L'interior del casc està format per diverses seccions estanques que serveixen com a llast, tancs d'emmagatzematge d'oli, etc.

Segons els investigadors, les avantatges esperades d'aquest sistema són:

- Mínim moviment induït per les ones.
- Menors costos estructurals.
- Flotació de l'estructura durant el muntatge.

Tot i aquestes avantatges, al no estar els cables amb una gran tensió, el sistema de fondeig permetrà a l'estructura una relativa gran amplitud de moviment, que dificultarà l'operació de l'aerogenerador.

#### **5.5.4. Estructura flotant *Mooring Line-Stabilized Tension Leg Platform (TLP)***

Aquest sistema consisteix en una plataforma vertical flotant fixada amb quatre cables massissos d'alta resistència en cada una de les potes de la base i ancorats al fons marí. La base sempre està en flotació constant, aconseguint d'aquesta manera que els cables estiguin tensats. Amb la tensió dels cables s'aconsegueix mantenir la flotabilitat i la posició vertical de la turbina, siguin quines siguin les condicions de vent i ones. La tensió dels cables és un aspecte molt important ja que quan menor sigui la tensió, més llibertat de moviment tindrà l'estructura.

Un punt crític d'aquest sistema serà l'ancoratge dels cables. Per dur-lo a terme s'utilitzen uns sistemes complexos que no són aptes per a tot tipus de fons marins.

Aquest tipus d'estructura ja ha estat utilitzada per plataformes petrolíferes des de la dècada dels 80 i és molt adequada per a grans profunditats.

Dels tres sistemes que veiem a la figura 13, aquest és el que ofereix una menor amplitud de moviment a l'estructura, però és el més car.

#### **5.5.5. Estructura flotant *Buoyancy Stabilized Barge***

Aquest sistema consisteix en una plataforma flotant estabilitzada dissenyada per més rentable i de fàcil instal·lació.

La plataforma ideada és molt poc pesada i l'àrea de flotació és suficient per estabilitzar l'estructura en condicions de càrrega. Disposa d'uns cables ancorats al fons marí únicament per evitar que pugui bolcar en condicions extremes.

La principal avantatge d'aquesta estructura flotant són els costos d'instal·lació i transport. Pot ser arrossegada des del port per qualsevol remolcador, fet que redueix bastant els costos de desplaçament.

Per altra banda, no són recomanats per zones d'onatge extrem, ja que al ser un sistema flotant l'estructura es mou constantment.

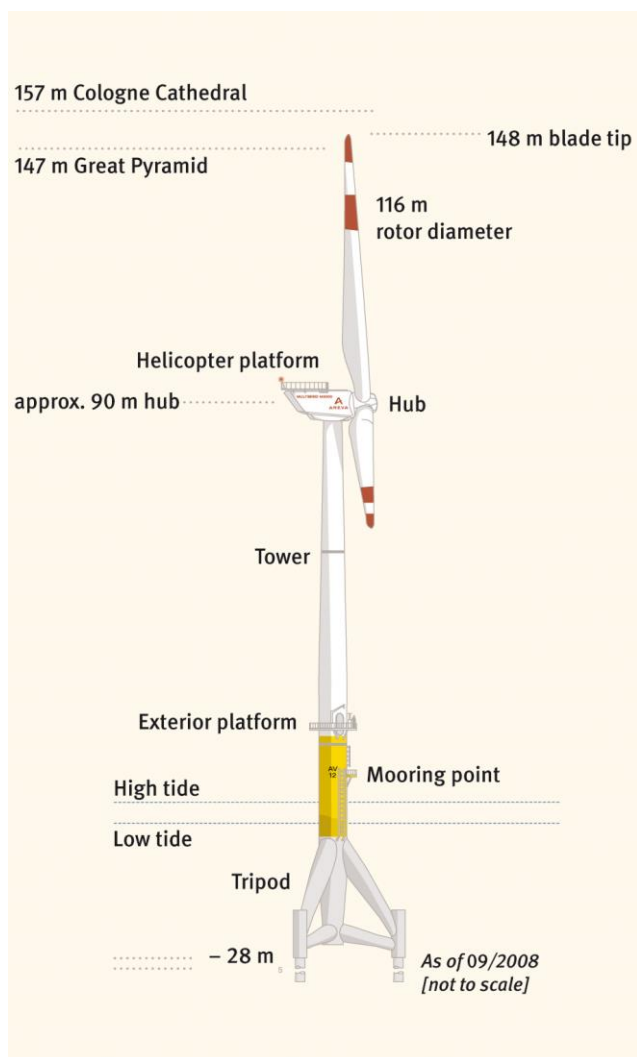
## - PART 2 -

### 6. MUNTATGE D'UN AEROGENERADOR

#### 6.1. Opcions de transport i instal·lació

El major impacte en la configuració d'una construcció de turbines eòliques en alta mar és la forma d'instal·lació. Durant la fase de disseny s'ha de tenir en compte les dimensions d'una turbina eòlica amb una capacitat d'entre 3 a 5 MW combinat amb la seva massa, el transport a la ubicació i la manipulació d'una estructura tan vulnerable.

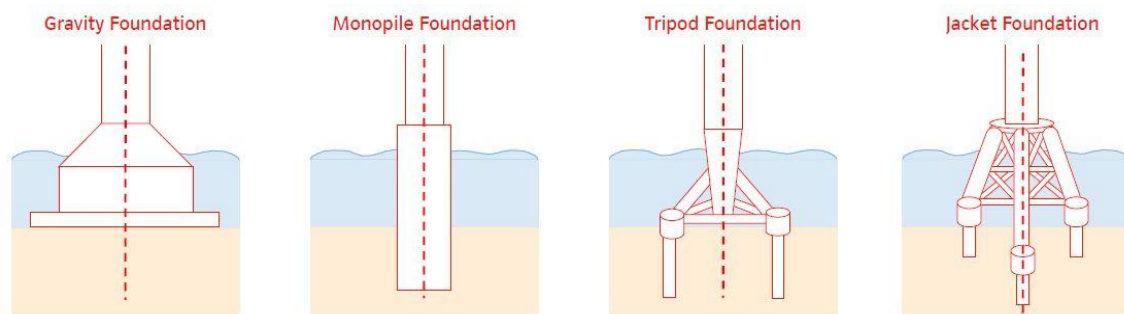
A continuació un dibuix esquemàtic d'aquest aerogenerador eòlic (Figura 21). Aquí s'il·lustra la base de *tripod*, però les dimensions també són vàlides per a una base *monopile*.



**Figura 21.** Esquema i mides de la turbina.  
Font: WEA AREVA

Considerem els quatre components principals d'una estructura de turbines eòliques *offshore* els següents:

- Base de l'aerogenerador. Hi ha molts tipus de bases o cimentacions possibles per a fixar o mantenir estables els aerogeneradors, les quals estan descrites a la part 1 (pàgina 18). A continuació veiem els quatre sistemes de fixació que destaquen:



**Figura 22.** Exemple de les quatre bases més destacades: *gravity*, *monopile*, *tripod* i *jacket*. Font: windfarmbop.com

- Torre de la turbina eòlica.
- Góndola.
- Rotor amb pales de la turbina eòlica.

Aquests components poden presentar diferents configuracions pel que fa a instal·lació i transport:

- Configuració 1: Instal·lació dels quatre components per separat, és a dir, començant a partir de la base, seguidament la torre, després la gòndola i finalment el rotor.
- Configuració 2: Instal·lació de la base, seguit de la torre i la gòndola juntes, i finalment el rotor.
- Configuració 3: Instal·lació de la base, després la torre, i finalment la gòndola juntament amb el rotor.

- Configuració 4: La instal·lació de la base i la torre pre-muntats, seguit de la instal·lació de la gòndola i, finalment, el rotor.
- Configuració 5: Instal·lació de la base i la torre pre-muntats, seguit de la gòndola i el rotor també pre-muntats.
- Configuració 6: Instal·lació de la base, la torre i la gòndola pre-muntats, seguit pel rotor.
- Configuració 7: Instal·lació de la base, i per altra banda instal·lació de la torre eòlica, la gòndola i el rotor pre-muntats.
- Configuració 8: Instal·lació i transport de la turbina eòlica muntada completa.

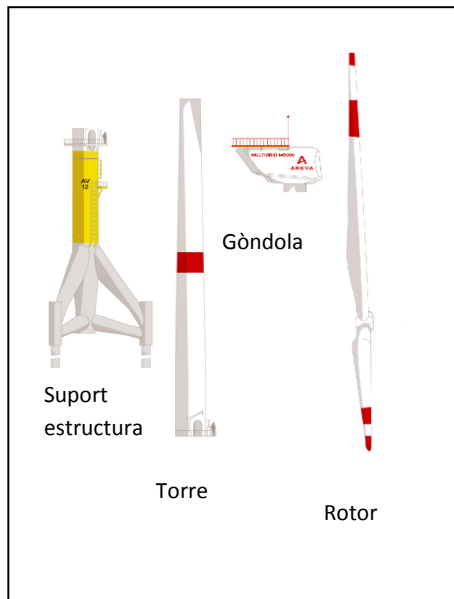
**Notes:**

- *En aquestes configuracions es té en compte que es faran servir alguna de les cimentacions o bases més destacades i nombrades anteriorment, però també hi ha la opció de fer servir bases del tipus flotant, tot i que encara no s'utilitzen molt, ja que la seva instal·lació i funcionament posterior és més complicat i no tan efectiu.*
- *Es preveu que la instal·lació del cablejat submergit tingui lloc després de la instal·lació de la turbina eòlica, que inclou un connector de cable. D'aquesta manera, la turbina està connectada al cablejat de la xarxa després que l'estructura es col·loqui a la seva ubicació. Una altra possibilitat és dissenyar el cablejat, com una part integrant de la base. Ambdues possibilitats no tenen cap influència sobre les diferents opcions d'instal·lació presentades anteriorment.*
- *Les alternatives d'instal·lació presentades no inclouen grans subconstruccions que van més enllà de les dimensions normals d'una turbina de vent, com una estructura d'aterratge per a helicòpters, que podrien ser considerats com a presents a efectes de manteniment.*



### 6.1.1. Configuració 1

#### *Instal·lació dels components principals per separat*



Quan tots els components d'una turbina eòlica s'instal·len per separat, es poden transportar més components del mateix tipus alhora a la seva ubicació en alta mar. Transportar diverses bases juntes, per exemple, disminuiria els costos de transport i el temps d'instal·lació.

Instal·lar les bases per separat també podria donar lloc a la utilització de vaixells més petits. En aquest cas, aquests vaixells haurien d'augmentar la freqüència de viatges.

**Figura 23.** Configuració 1. Font: WEA AREVA i pròpia.

Degut a l'altura de la torre (aproximadament 87 metres per a una turbina de 5 MW), la torre pot consistir en dues o més parts. En aquest cas, el transport de les torres és molt més fàcil ja que es poden fer servir vaixells més petits, però s'incrementa considerablement el temps d'instal·lació.

Diverses gòndoles poden ser transportades conjuntament al lloc d'instal·lació, però el seu muntatge a alta mar requereix molt temps. El temps d'instal·lació és comparable amb el temps d'instal·lació d'una torre de turbina d'una sola peça.

El transport i instal·lació dels rotors presenta més complicacions degut a les grans dimensions del seu diàmetre. El seu transport no és només limitat per la seva grandària, sinó que també s'ha de tenir en compte la vulnerabilitat que presenten contra danys externs. Una opció de transport possible és col·locar-los horitzontalment, un sobre l'altre, sobre un bastidor de transport modular (fent que no estiguin en contacte entre ells). Pel que fa a la manipulació i al muntatge dels rotors a alta mar també han de ser considerats, ja que el muntatge dels rotors grans a alta mar requereix personal qualificat que treballi en grans altituds i sota condicions difícils.

L'existència de petits moviments i una lleugera brisa són sempre presents, i és fonamental no deixar caure cap component al mar.

Potencia de la turbina [MW]	Massa de la Gòndola [MT]	Alçada de la caixa, respecte a MSL [m]
2	95	69
3	155	78
4	155	78
5	287	92

**Taula 2.** Característiques massa i dimensions de la configuració 1. Font: pròpia.

#### Avantatges de la configuració 1

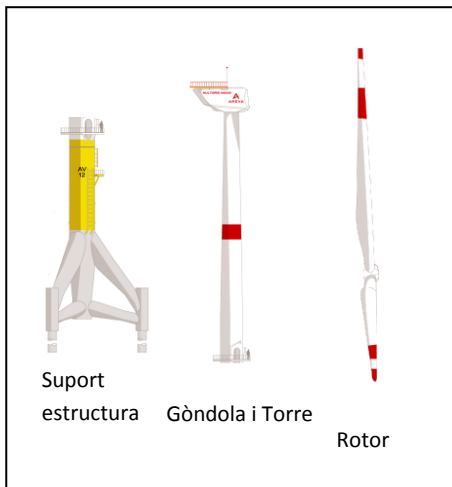
- La instal·lació de *monopile* es pot aconseguir en intervals curts.
- Poca massa dels components (fins a 300 MT aproximadament), que s'ha d'aixecar a una alçada d'aproximadament 105 metres de la MSL (alçada del ganxo d'aixecament).
- Més rotors poden ser transportats en un vaixell.
- Curt temps de transport si varis components del mateix tipus són transportats alhora.
- L'ús de vaixells més petits d'instal·lació si s'instal·len els components per separat.

#### Inconvenients de la configuració 1

- Temps d'instal·lació llarg.
- Alt risc pel personal durant la instal·lació del rotor i la gòndola.
- Difícil maneig i muntatge de la torre, la gòndola i el rotor.
- Vulnerabilitat del rotor durant la instal·lació.
- Requeriment de varis vaixells petits o un petit nombre de vaixells preparats per fer trajectes amb freqüència a la ubicació de la instal·lació.
- Un port a prop del punt d'instal·lació.

### 6.1.2. Configuració 2

*Instal·lació de la base, seguit de la torre i la gòndola pre-muntats, i el rotor per separat.*



Aquesta configuració és molt similar a la configuració 1. Pel fet de tenir la torre i la gòndola pre-muntats abans de la seva instal·lació, ens pot estalviar un temps considerable. Els aspectes de transport de les torres de les turbines són comparables amb els aspectes de transport considerats per les bases.

**Figura 24.** Configuració 2. Font: WEA AREVA i pròpia.

Cal anar amb compte de no danyar les gòndoles. Per això, el transport de més de dues torres de forma simultània en un únic vaixell no és aconsellable, llevat que es transportin verticalment.

L'espai requerit en els vaixells de transport augmenta lleugerament en comparació amb la configuració 1. La massa màxima que s'aixequi augmenta fins 507 MT en aproximadament 92 metres d'altura (5 MW de turbines eòliques, *monopile*) en comparació amb la configuració 1. Això podria ser un factor limitant pels vaixells d'instal·lació.

Potencia de la turbina [MW]	Massa de la Gòndola i torre <i>Monopile</i> [MT]	Massa de la Gòndola i torre <i>Tripod</i> [MT]	Alçada de la caixa, respecte a MSL [m]
2	245	234	69
3	343	335	78
4	424	419	85
5	507	523	92

**Taula 3.** Característiques massa i dimensions de la configuració 2. Font: pròpia.

### Avantatges de la configuració 2

- Instal·lació de *monopile* es pot aconseguir en intervals curts.
- Més rotors poden ser transportats en un vaixell.
- No es requereix de temps d'instal·lació per a les gòndoles.

### Inconvenients de la configuració 2

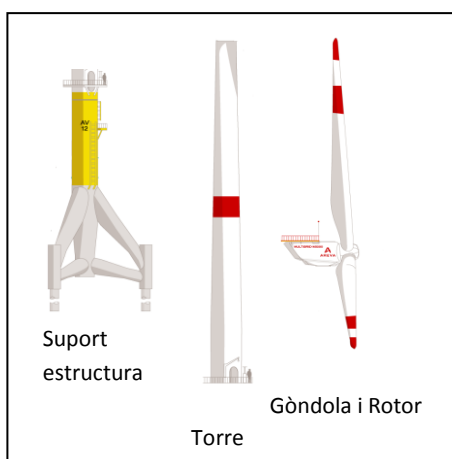
- Alt risc pel personal durant la instal·lació del rotor.
- Díficil maneig i muntatge del rotor.
- Vulnerabilitat del rotor durant la instal·lació a alta mar.
- Massa relativament gran dels components (fins a 510 MT aproximadament per un *monopile*) per ser aixecada a una alçada de 105 metres de MSL (alçada del ganxo d'aixecament).
- Es requereixen varis vaixells per a la instal·lació o un petit nombre de vaixells que vagin amb freqüència al punt d'instal·lació.
- Es requereixen vaixells més grans d'instal·lació en comparació amb la configuració 1 (la mida i la capacitat d'elevació degut al pre-muntat torre-gòndola de l'estructura).

#### **6.1.3. Configuració 3**

*Instal·lació de la base seguida de la torre i finalment la gòndola i el rotor pre-muntats.*

El transport i la instal·lació de l'estructura de suport (base) i de la torre de turbina són similars als procediment descrit en la configuració 1.

El transport de la gòndola pre-muntada amb el rotor podria donar lloc a problemes de logística en el maneig i el suport de l'estructura durant el transport. Sembla poc pràctic considerar múltiples viatges de gòndola i rotors pre-muntats, ja que seria necessari un tipus de transport especial.



La instal·lació a alta mar de la gòndola i el rotor pre-muntats significa que aproximadament 387 MT han de ser aixecades a aproximadament 92 metres d'alçada (5 turbina eòlica MW). Aquesta condició d'aixecament és similar a la descrita en la configuració 2 i podria ser un factor limitant per la instal·lació.

**Figura 25.** Configuració 3. Font: WEA AREVA i pròpia.

Potencia de la turbina [MW]	Massa de la Gòndola i Rotor [MT]	Alçada de la boixa, respecte a MSL [m]
2	126	69
3	207	78
4	294	85
5	387	92

**Taula 4.** Característiques massa i dimensions de la configuració 3. Font: pròpia.

### Avantatges de la configuració 3

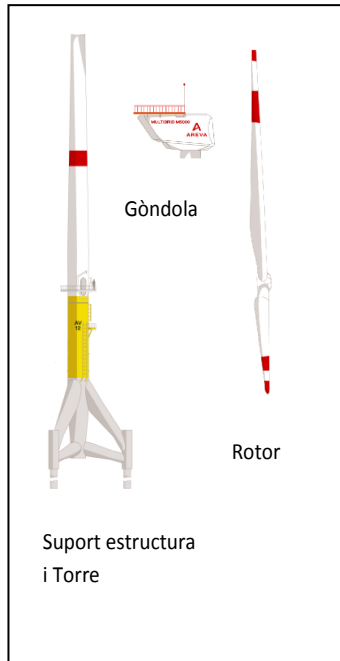
- La instal·lació de *monopile* es pot aconseguir en intervals curts.
- No es requereix temps d'instal·lació a alta mar pel rotor.
- Menys dificultat en el maneig i muntatge de la gòndola juntament amb el rotor, en comparació amb les configuracions 1 i 2.
- Massa relativament petita dels components (fins a 390 MT) per ser aixecada a una alçada de 105 metres de MSL (alçada del ganxo d'aixecament).

### Inconvenients de la configuració 3

- Igualment existeix un risc pel personal durant la instal·lació del conjunt de la gòndola-rotor.
- El més probable és que només es pugui transportar un conjunt gòndola-rotor alhora.
- Temps d'instal·lació llarg per a les unions de la torre i la gòndola.

#### 6.1.4. Configuració 4

*Instal·lació de la base i la torre pre-muntats, seguida de la gòndola i després el rotor.*



Aquesta configuració és similar a la configuració 1. Una diferència és que l'estructura pre-muntada és considerablement més gran si no es subdivideix en seccions. La instal·lació de l'estructura base *monopile* pre-muntada amb la torre no és possible.

Per evitar possibles danys, el transport de diverses unitats a la vegada ha de tenir lloc verticalment. Aquesta opció sembla però poc probable per a les cimentacions *monopile*.

En el cas d'una cimentació *jacket*, la base i la torre han d'estar dissenyades integralment per tal de limitar el temps de pre-muntatge a terra.

**Figura 26.** Configuració 4. Font: WEA AREVA i pròpia.

Les estructures pre-muntades de *jacket* i torre poden ser transportades verticalment a lloc i després instal·lar-les en la posició. Les característiques de transport d'aquesta opció són similars a les presentades prèviament.

La instal·lació dels rotors és similar a les configuracions 1 i 2.

La massa màxima de l'estructura a ser transportada i instal·lada és d'aproximadament 50 tones.

Potencia de la turbina [MW]	Suport est. i Torre ( <i>Tripod</i> , no pilars) [MT]	Alçada de la caixa, respecte a MSL [m]
2	318	≈66
3	361	≈75
4	387	≈82
5	447	≈89

**Taula 5.** Característiques massa i dimensions de la configuració 4. Font: pròpia.

#### Avantatges de la configuració 4

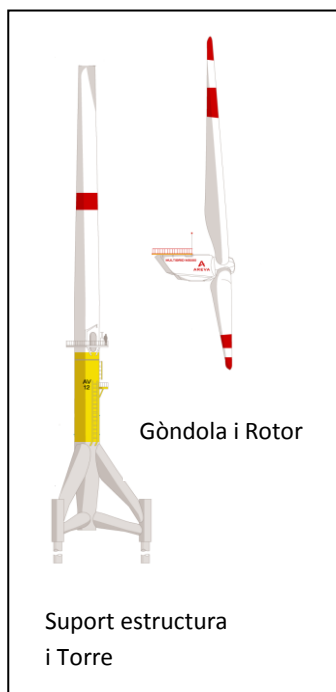
- Disseny integrat de la base amb la torre si s'escull un disseny tipus *jacket*.
- El transport de la base i la torre pre-muntades es pot realitzar verticalment, disminuint d'aquesta manera l'espai de transport requerit en un vaixell i, per tant, utilitzant un menor nombre de vaixells de transport.

#### Inconvenients de la configuració 4

- La base *monopile* no és possible en aquesta configuració.
- La massa dels components és relativament alta (fins a 450 MT aproximadament) per ser aixecada a una alçada de 100 metres de la MSL (alçada del ganxo d'aixecament).

#### **6.1.5. Configuració 5**

*Instal·lació de la base i la torre pre-muntats, seguida de la gòndola i el rotor pre-muntats.*



Aquesta configuració és una combinació de les configuracions 3 i 4 presentades anteriorment.

Les consideracions explicades en els apartats anterior per l'estructura pre-muntada de base i torre, i per l'estructura pre-muntada de gòndola i rotor són aplicables.

**Figura 27.** Configuració 5. Font: WEA AREVA i pròpia.

Potència de la turbina [MW]	Massa de la Gòndola i el Rotor [MT]	Suport est. i Torre ( <i>Tripod</i> , no pilars) [MT]	Alçada de la caixa, respecte a MSL [m]
2	126	318	69
3	207	361	78
4	294	387	85
5	387	447	92

**Taula 6.** Característiques massa i dimensions de la configuració 5. Font: pròpia.

#### Avantatges de la configuració 5

- No es requereix molt temps d'instal·lació a alta mar pel rotor.
- Menys dificultat en la manipulació i muntatge de la gòndola-rotor quan es compara amb les configuracions 1 i 2.
- Disseny integrat de la base amb la torre si s'escull un disseny tipus *jacket*.
- El transport de la base i la torre pre-muntades es pot realitzar verticalment, disminuint d'aquesta manera l'espai de transport requerit en un vaixell i, per tant, utilitzant un menor nombre de vaixells de transport.

#### Inconvenients de la configuració 5

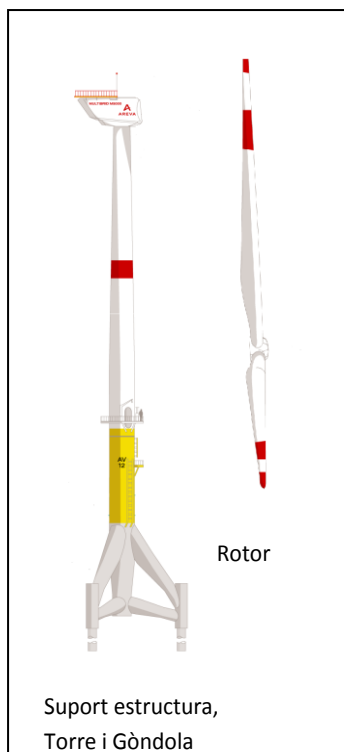
- La base *monopile* no és possible en aquesta configuració.
- La massa dels components és relativament alta (fins a 450 MT aproximadament) per ser aixecada a una alçada de 100 metres de la MSL (alçada del ganxo d'aixecament).

#### **6.1.6. Configuració 6**

*Instal·lació de la base, la torre i la gòndola pre-muntats, seguit pel rotor.*

La base, la torre i la gòndola pre-muntades poden ser transportats de la mateixa manera com s'ha explicat a la configuració 5 per la base i la torre pre-muntades. La instal·lació d'aquesta estructura combinada assoleix una massa de més de 730 MT (5 MW turbina). Aquesta massa ha de ser aixecada a aproximadament 95 metres d'alçada per sobre de MSL.





Per altra banda, el temps d'instal·lació es redueix considerablement en comparació amb les configuracions anteriors, en les quals una o dues unions s'han de connectar a alta mar (la unió torre-base i la unió torre-gòndola).

Una dificultat extra quan s'instal·len les turbines sobre una estructura *jacket*, és la sensibilitat de la torre completa (amb la gòndola) a les vibracions causades pel transport i la instal·lació del conjunt. La construcció ha de ser analitzada per aquest carregament específic.

**Figura 28.** Configuració 6. Font: WEA AREVA i pròpia.

Potència de la turbina [MW]	Suport estructural, Torre i Gòndola ( <i>Tripod</i> , no pilars) [MT]	Alçada de la caixa, respecte a MSL [m]
2	413	≈72
3	516	≈81
4	606	≈88
5	733	≈95

**Taula 7.** Característiques massa i dimensions de la configuració 6. Font: pròpia.

### Avantatges de la configuració 6

- No es requereix molt temps d'instal·lació a alta mar per la instal·lació de la gòndola o per la torre de la turbina.

### Inconvenients de la configuració 6

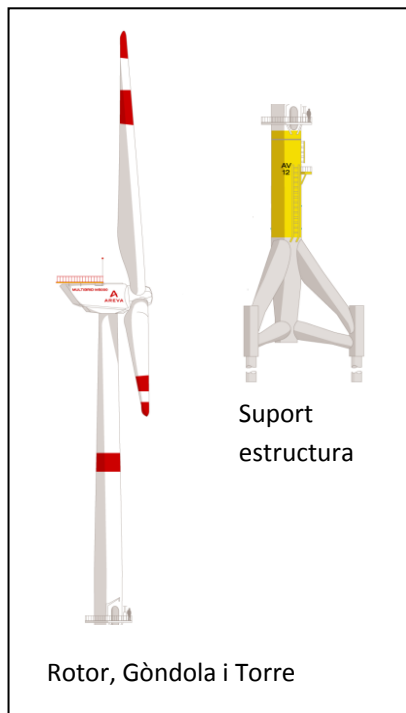
- La base *monopile* no és possible en aquesta configuració.
- Alt risc pel personal durant la instal·lació del rotor.
- Massa molt elevada dels components (fins a 730 MT aproximadament) per ser aixecada a una alçada de 105 metres de MSL (alçada del ganxo d'aixecament).
- La gòndola té un càrrega addicional, fent que es puguin causar vibracions en la instal·lació.

### 6.1.7. Configuració 7

*Instal·lació de la base, seguida per la torre, la gòndola i el rotor pre-muntats.*

Aquesta configuració consisteix en instal·lar primer la base per separat, i a continuació la torre, la gòndola i el rotor junts.

La manera de transportar el conjunt pre-muntat ha de ser en posició vertical; cada conjunt s'ha de muntar temporalment sobre una base feta al vaixell (per exemple, un passador gran, ja sigui a l'interior o a l'exterior de la torre). Això significa que la instal·lació del vaixell ha de ser adaptada per a aquest propòsit. El temps d'instal·lació total és llarg pel fet que la velocitat de transport és relativament lenta.



Una segona opció pel transport del conjunt pre-muntat és un transport en suspensió lliure, on no s'haurà d'instal·lar el conjunt sobre una base. La càrrega màxima per ser transportada i instal·lada és d'uns 625 MT (5 MW de turbines, cimentació *tripod*). Per instal·lar aquest pre-muntatge, ha de ser elevat a aproximadament 95 m per sobre de MSL (al voltant de 105 m d'alçada del ganxo d'elevació).

La instal·lació de la torre, la gòndola i el rotor pre-muntats presenta també algunes dificultats; com la manipulació del conjunt pre-muntat que s'ha de fer de manera que el rotor no pateixi cap dany.

**Figura 29.** Configuració 7. Font: WEA AREVA i pròpia.

El conjunt de la torre i el rotor ha de ser aixecat del suport temporal, exposant almenys una pala del rotor a possibles danys si el conjunt està girant al voltant del seu eix vertical, ja sigui pel cable d'elevació o per la ploma de la grua. El control de l'estabilitat del conjunt durant la instal·lació és difícil d'aconseguir.

D'altra banda, quan el conjunt s'eleva tendria a inclinar-se de tal manera que el centre de gravetat penja exactament des del punt d'elevació. Com que el centre de gravetat

està situat bastant alt i a força alçada, el conjunt ha de ser mantingut en la posició correcta d'instal·lació per permetre que es pugui fer a de la millor manera, ràpida i segura.

Potència de la turbina [MW]	Massa de Rotor, Gòndola i Torre ( <i>monopod</i> ) [MT]	Massa de Rotor, Gòndola i Torre (Tripod) [MT]	Alçada de la caixa, respecte a MSL [m]
2	275	264	69
3	394	386	78
4	499	494	85
5	608	624	92

**Taula 8.** Característiques massa i dimensions de la configuració 7. Font: pròpia.

Durant la fase de disseny d'aquesta turbina és important dur a terme una anàlisi estructural de la sensibilitat de la torre completa (amb gòndola) contra la vibració, causats pel transport de les turbines quan estan muntades en una construcció tipus *jacket*.

#### Avantatges de la configuració 7

- La instal·lació de *monopile* es pot aconseguir en intervals curts.
- No hi ha risc elevat pel personal.
- No hi ha dificultat en el maneig i el muntatge del rotor.

#### Inconvenients de la configuració 7

- Es necessiten grans vaixells de transport i instal·lació.
- Massa molt elevada dels components (fins 625 MT aproximadament) per ser elevat a una alçada de 105 metres de MSL (alçada del ganxo d'aixecament).
- El transport de la torre, la gòndola i el rotor pre-muntats suposen una massa total molt elevada.
- Vulnerabilitat del rotor a sofrir danys durant l'instal·lació.

### 6.1.8. Configuració 8

#### *Instal·lació i transport de la turbina eòlica muntada completa.*

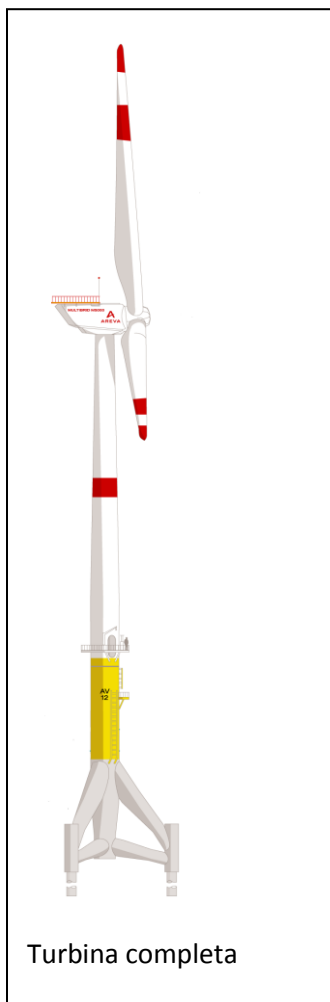
Aquest mètode d'instal·lació només és aplicable per a conjunts del tipus *jacket* i *gravity*. La idea és transportar un màxim de dues turbines eòliques al mateix temps fins la seva ubicació, per tal d'aixecar el conjunt completament muntat de la turbina eòlica en un moviment i instal·lar-lo.

La instal·lació d'aquesta estructura probablement requereix grues flotants, però l'ús d'un jack-up també pot ser considerat. La massa estimada de l'estructura completa pre-muntada, sobre una base tipus *jacket*, pot arribar a les 834 MT. Si s'utilitza una cimentació *gravity* la massa pot ser encara major. Un problema important seria l'altura

a la qual l'estructura completa ha de ser elevada (l'alçada de la part superior de la gòndola des de la coberta dels vaixells és de  $\pm 95$  m per a una turbina de 5 MW).

Tal i com s'ha explicat anteriorment a les configuracions 6 i 7, és important portar a terme un anàlisi de la sensibilitat de la torre completa (amb gòndola) contra la vibració, causada en el transport, quan les turbines estan muntades en una construcció de *jacket*.

De la mateixa manera com es presenta a la configuració 7, la instal·lació s'ha de dur a terme de tal manera que no es produeixi cap dany del rotor. El conjunt complet s'ha d'eleva de l'estructura de la torre, exposant almenys una pala del rotor a possibles danys si el conjunt està girant al voltant del seu eix vertical. El control de l'estabilitat del conjunt durant la instal·lació és més fàcil d'aconseguir que a la configuració 7, a causa de l'amplada de la base tipus *jacket*. A més, el conjunt s'inclinaria menys que el conjunt de la configuració 7, perquè el centre de gravetat està situat en una posició inferior.



**Figura 30.** Configuració 8.

Font: WEA AREVA i pròpia.

Potencia de la turbina [MW]	Massa de la torre completa [MT]	Alçada de la boixa, respecte a MSL [m]
2	443	69
3	567	78
4	681	85
5	834	92

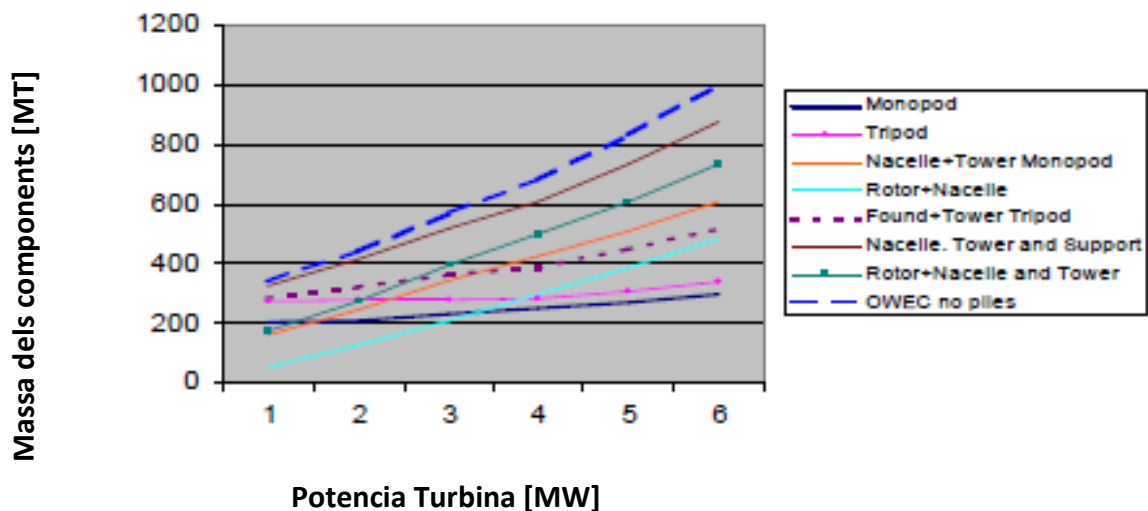
**Taula 9.** Característiques massa i dimensions de la configuració 8. Font: pròpia.

#### Avantatges de la configuració 8

- Temps d'instal·lació molt curt.
- Poca possibilitat de danys en la construcció a causa de la manipulació.
- No hi ha risc elevat pel personal.
- No hi ha dificultat en el maneig i el muntatge del rotor.
- Baixa vulnerabilitat del rotor durant la instal·lació a alta mar.

#### Inconvenients de la configuració 8

- La base *monopile* no és possible en aquesta configuració.
- Es poden transportar un màxim de dos conjunts alhora al lloc d'instal·lació.
- Són necessaris grans vaixells de transport i d'instal·lació.
- Gran massa del conjunt, sobre 835 MT, que s'aixeca sobre una gran alçada (105 m altura del ganxo d'aixecament), és a dir, que es requereixen grues de grans dimensions i resistents.
- Anàlisi extra per causa de les vibracions causades durant la instal·lació.



**Figura 31.** Gràfic de la relació massa-potència dels elements de la turbina. Font: EWEA.

## 7. DISSENY DE LA TURBINA

### 7.1. Disseny de la turbina segons el transport

Cada una de les configuracions presentades en el capítol anterior afectarà el disseny de la turbina eòlica. El mitjà de transport influeix, per exemple, en el nombre d'armelles i requereix reforços en la construcció. El mateix val pel transport per mitjà d'arrossegament. Les peces de construcció temporals s'han de tenir en compte durant la fase de disseny.

Una altra consideració seria la ubicació de les pales durant el transport de la torre juntament amb el seu rotor o l'ús de pales retràctils del rotor per reduir al mínim l'espai físic de transport.

Totes aquestes consideracions tindran un impacte en els costos del disseny de turbines eòliques *offshore* i afectarà també els costos de transport.

## **7.2. Disseny de la turbina segons la instal·lació**

A més de les consideracions sobre el transport, la forma d'instal·lació de la turbina eòlica *offshore* tindrà un impacte en el disseny de l'estructura.

Alguns exemples són:

- El lloc on es deixaran les pales quan es dugui a terme la instal·lació de la torre i el rotor pre-muntats.
- -Problemes de fatiga per les connexions que van cargolades.
- L'elecció de brides de subjecció.
- L'elecció de la ubicació de la plataforma de treball connectada a l'estructura.

## **7.3. Disseny de la turbina segons la seva ubicació *offshore***

La ubicació de les turbines eòliques *offshore* afecta l'elecció de la qualitat del material, la protecció contra la corrosió i contra llamps. Aquestes decisions tindran un impacte en els costos de transport i instal·lació.

## **7.4. Disseny de la turbina segons el manteniment**

Hi ha dos aspectes a tenir en compte pel que fa a l'impacte sobre el disseny en relació al manteniment:

- Impacte en el disseny de la construcció *offshore* per tal de minimitzar el manteniment.
- La seguretat del personal durant el manteniment.

Per analitzar l'impacte en el disseny, cal establir una diferència entre manteniment pesat i lleuger, basat en la massa dels components per ser substituïts, si cal.

Pel manteniment bàsic, no s'esperen canvis de disseny que afectin el transport o la instal·lació.

Pel manteniment pesat, s'hauria de considerar un equip d'elevació intern per aixecar parts de la turbina i posar-les sobre una plataforma al capdavall de la torre de la turbina. Una altra possibilitat és l'ús d'helicòpters per aixecar aquestes peces pesades. En aquest cas seria necessària una plataforma d'helicòpter.

Tot i que les turbines per a una ubicació *offshore* estan específicament dissenyades per no requerir molt manteniment, aquest ha de ser dissenyat per rebre personal durant les diverses condicions meteorològiques, de forma segura.

A causa de la grandària esperada dels parcs eòlics *offshore* i a causa del nombre esperat de turbines en un parc, se suposa que els components de recanvi estaran disponibles i en estoc, per tant, no hi haurà retard en el procés de fabricació dels components de recanvi.

L'accés a cada turbina eòlica es pot realitzar en una de les tres formes següents:

- Mitjançant els vaixells de manteniment.
- Mitjançant un helicòpter.
- Amb les dues alternatives anteriors; vaixells i helicòpter de manteniment.

Les tres possibilitats es veuen limitades per l'estat del mar, la velocitat del vent i les condicions de visibilitat.

L'impacte en el disseny de la turbina eòlica en relació amb el manteniment, es pot resumir en els requisits següents:

- Una plataforma pel manteniment d'equips pesants.
- Una plataforma d'amarratge pels vaixells de manteniment.
- Una barana interna i plataformes per pujar el personal de manteniment.
- Una plataforma interna a la góndola per tasques de manteniment.
- Una plataforma d'helicòpter externa, incloent escales, passamans i elements auxiliars per entrar la góndola.



Tots els aspectes esmentats anteriorment incrementen els costos de disseny, augmenten lleugerament la massa de la construcció (i, per tant, els costos de transport i d'instal·lació) i augmenta lleugerament la sensibilitat de la construcció durant la manipulació. La plataforma per a helicòpters és opcional. Si s'instal·la per separat, pot resultar un augment substancial dels costos de transport i d'instal·lació.

## **8. REPERCUSSIÓ DEL DISSENY DE LA TURBINA SOBRE ELS COSTOS DEL TRANSPORT**

El disseny de la turbina té una influència important en les despeses de transport fins al lloc d'instal·lació en alta mar.

Exemples d'això són l'elecció de dos o tres pales d'un rotor, o el disseny d'una pala retràctil per tal de poder-la transportar en millors condicions d'espai.

Per l'anàlisi dels costos del transport de les configuracions presentades, ens basarem en l'exemple d'una turbina de les següents característiques:

- El rotor de la turbina eòlica consta de tres pales (no retràctils).
- El jack up o plataforma es troba en el nivell mig del mar.
- La base de la turbina acaba a una certa alçada sobre el nivell mitjà del mar.
- La plataforma de manteniment requerit és una part de la base (a l'extrem superior) o és una part de la torre de turbina (al capdavant).
- La base de la turbina no inclou cap altra plataforma de manteniment extern.
- La turbina *offshore* no inclou una plataforma d'helicòpter a la part superior. Si aquesta plataforma és requerida, es transporta i s'instal·la per separat.

A més d'aquests supòsits cada configuració s'analitza:

#### Configuració 1: Instal·lació dels components principals per separat

Com que totes les parts de la turbina eòlica s'instal·len per separat, totes les cimentacions s'instal·len primer. Les bases inclouen una plataforma en l'extrem superior, o almenys una protecció contra la col·lisió i una plataforma de manteniment, just per sota del punt de connexió. Aquesta part ha de ser protegida durant el transport.

El transport a la localització dels *monopiles* es pot fer utilitzant un vaixell de transport o poden ser remolcats (flotant).

Si es fa servir un vaixell de transport, la longitud del *monopile* pot ser un gran inconvenientment, ja que cada peça fa uns 50 metres. Sembla improbable que aquest es talli a trossos per al transport i es solda entre si abans de la instal·lació. Això vol dir que l'àrea de transport en una barcaça serà d'almenys 50 metres de llarg, si està fet d'una sola peça. Fins i tot, si es transporta inclinat en un angle de 15 graus, la longitud necessària serà encara de 48 metres. El disseny ha d'incloure punts d'elevació capaços de suportar una càrrega que varia entre 200 i 300 MT.

Si són remolcats a la seva ubicació, el seu disseny ha d'incloure compartiments estancs o punts de fixació als compartiments externs. Probablement faran falta dos remolcadors per transportar-los amb total seguretat i precisió. El transport de més d'un suport al mateix temps amb aquest mètode no és impensable.

El transport a la ubicació de les cimentacions *jacket* serà una mica diferent: poden ser transportats en posició vertical. Les àrees mínimes de transport d'una unitat està limitada per la grandària de la seva base, per exemple, una configuració de tres pilars té un radi d'uns 8 metres i una àrea triangular d'aproximadament de 14 metres (aprox. 40 m<sup>2</sup>), o per la grandària de les plataformes de manteniment. Això significa que no serà necessari cap disseny especial d'una cimentació *jacket* per satisfer les limitacions del transport.

El transport de les cimentacions *gravity* es pot aconseguir de dues maneres: auto-flotat o en un vaixell de transport. Si es fa de manera flotat, serà necessari un llast, que serà posat a la base després del seu posicionament. Aquest llast ha de ser transportat per separat. El transport d'una cimentació *gravity* en un vaixell de transport és similar a la del transport d'un *jacket*.

Els següents punts han de ser considerats per al transport de les torres per a aquesta configuració:

- La massa de les torres varia entre 120 i 220 MT per a 1 MW - 5 MW de rang.
- La longitud de les torres és també considerable, sent entre 52 i 87 metres de llarg.
- Les torres poden incloure una plataforma de manteniment, que es troba a la part inferior.

S'espera que les torres seran transportades horitzontalment, amb un suport per tal d'evitar danys, en vaixells de transport amb una llargada de la zona de transport de com a mínim 90 metres. Una altra opció és la de subdividir la torre en subseccions. El disseny de la torre ha d'incloure punts d'elevació.

El diàmetre del rotor pot ser de fins a 126 metres, per a turbines d'entre 1 MW - 5 MW de rang. Això significa que faran falta vaixells de transport molt grans i / o amb una gran màniga per a poder transportar un rotor de tres pales, llevat que les pales siguin retràctils o les pales puguin sobresortir del vaixell de transport.

Una altra opció és la de transportar les pales d'un rotor per separat i aquestes ser connectades al rotor en el moment de la instal·lació o abans. En aquest cas, el vaixell de transport no constitueixen cap tipus de restricció, però la connexió de les pales a la caixa ha de ser de tal manera que la instal·lació en alta mar es pugui dur a terme amb les condicions marines corresponents que es trobaran al lloc de la instal·lació.

### Configuració 2. Instal·lació de la base, seguit de la torre i la góndola pre-muntats, i el rotor per separat

Les consideracions per aquesta configuració són similars a la configuració 1. Les diferències són:

- El conjunt torre-góndola té una massa que oscil·la entre 160 i 520 MT per a 1 MW i 5 MW, respectivament.
- La longitud dels conjunts de torre-góndola és també considerable (aproximadament entre 60 i 95 metres, incloent la góndola).

S'espera que els conjunts es transportin horitzontalment, amb un suport per tal d'evitar danys, en vaixells amb almenys 100 metres de llarg d'àrea de transport. També hi ha l'opció de que sobresurtin una mica del vaixell.

### Configuració 3. Instal·lació de la base seguida de la torre i finalment el conjunt góndola i rotor

Aquesta configuració és molt similar a la configuració 1. L'única diferència és el conjunt pre-muntat góndola i l'estructura del rotor. Sembla poc probable que els conjunts góndola-rotor amb la resta d'estructures puguin anar conjuntament amb el transport. Això significa que si es vol transportar tot en un vaixell, serà necessari un vaixell per a cada pre-muntatge.

### Configuració 4. Instal·lació de la base i la torre pre-muntades, seguida de góndola i després el rotor

Si només es consideren els aspectes del transport, sembla poc apropiat escollir el transport del pre-muntatge amb la cimentació *monopile*. Si aquest és el cas, els vaixells de transport per a una turbina de 5 MW han de tenir una àrea de treball amb una longitud de almenys 140 m, llevat que el combinat torre i base puguin sobresortir des del vaixell. La construcció també inclou un embarcador i una plataforma de manteniment que ha de ser protegit durant el transport. Això vol dir que tota l'estructura ha d'estar suportada en diversos punts (perquè no es pot col·locar a la

zona de treball). Per a la configuració 4, sembla més lògic per al transport de la cimentació i la torre per separat (potser en un mateix vaixell) i connectar les parts abans de la instal·lació.

Per a una construcció amb *jacket*, el transport sembla més oportú, ja que l'estructura de la base *jacket* facilita la posició per al transport, sent més estable i segur el transport fins al punt d'instal·lació. No hi ha característiques de disseny especials de la turbina de vent per al transport d'aquesta configuració.

L'anàlisi de transport d'un rotor per aquesta configuració és similar a la configuració 1.

#### Configuració 5. Instal·lació de la base i la torre pre-muntades, seguida de la góndola i el rotor pre-muntats

Veure la configuració 3 per l'anàlisi del transport de pre-muntat base i torre, i configuració 4 per l'anàlisi del transport de pre-muntat góndola i el rotor.

#### Configuració 6. Instal·lació de la base, la torre i la góndola pre-muntades, seguit pel rotor

Les consideracions de la configuració 4 presentades anteriorment són també aplicables per aquesta configuració. Només la massa total de l'estructura de pre-muntat serà més gran.

#### Configuració 7: Instal·lació de la base, seguida per la torre, góndola i rotor pre-muntats

L'anàlisi del transport de les bases per si sol, és similar al cas que es presenta en la configuració 1.

Les següents consideracions són aplicables per al transport de la torre, la góndola i el rotor junts:

- Com que les parts ja estan armades, no és realista considerar ajuntar diverses estructures en un vaixell de transport, a causa de la massa i les dimensions del conjunt.

- Pel transport d'una sola unitat muntada, en posició plana, serà necessària una gran zona de treball.
- La posició plana d'una unitat fa que sigui vulnerable als danys durant la càrrega en un vaixell de transport.
- Serà gairebé impossible de suportar i manipular l'estructura combinada si s'estableix en posició vertical.
- Si el transport vertical de l'estructura combinada és assolible, es presenta una gran càrrega ambiental degut a la seva alçada.

A causa de totes les raons esmentades anteriorment, sembla poc apropiat considerar el transport de la torre, góndola i rotor pre-muntats en una sola peça, si és que no s'utilitzin vaixells de transport molt especials que hagin estat dissenyats per aquest propòsit, com alguns *jack-up*.

#### Configuració 8: Instal·lació de la turbina eòlica muntada completa

Una turbina de vent muntada completa només pot ser transportada a la ubicació en el cas que s'utilitzi de base o cimentació una estructura *jacket* o una *gravity*. Per a un *monopile*, s'apliquen les mateixes restriccions descrites a la configuració 7.

## **9. ANÀLISI DE L'ESTRATÈGIA D'INSTAL·LACIÓ**

### Capacitat dels vaixells d'instal·lació

En considerar la instal·lació d'un parc eòlic, es pot esperar que la instal·lació més econòmica sigui fer servir l'estratègia d'embarcar tantes subestructures com sigui possible i, a la vegada, anar a la posició d'instal·lació. D'aquesta manera, el temps i els costos per anar i venir a la ubicació es podrien estalviar.

En considerar això, no s'ha d'oblidar que per instal·lar tantes estructures com sigui possible a la vegada, aquestes han d'estar disponibles.

Els següents aspectes són molt importants:

- Els fabricants han de construir i muntar tantes parts de turbines eòliques com sigui possible en poc temps i mantenir-los en estoc.
- Hi ha d'haver prou espai disponible al moll del port per mantenir l'estoc òptim necessari per a la instal·lació. S'ha de tenir en compte que l'espai del moll és car.
- L'espai destinat del moll del port per a l'estoc que és carregat als vaixells de carga, ha de ser omplert de nou per tal de carregar el següent vaixell.
- En el moment de la sortida del port, hauria d'haver un espai de bon temps, suficient per a instal·lar diverses unitats.
- S'estudia la capacitat màxima del transport i dels vaixells d'instal·lació.

S'ha de tenir en compte el temps extra en cas que l'equip no estiguis operatiu, degut a un determinat estat del mar o altres adversitats meteorològiques.

#### Pre-instal·lació de cables elèctrics

Un altre aspecte a tenir en compte en l'estratègia d'instal·lació, és la instal·lació dels cables elèctrics entre les turbines eòliques, entre els aerogeneradors i la sub-estació i entre les instal·lacions del parc eòlic i la costa.

Si els cables elèctrics estan pre-instal·lats, abans que es col·loquin les cimentacions dels aerogeneradors poden existir els següents inconvenients:

- Els cables poden ser danyats per la pròpia cimentació durant la seva instal·lació.
- Els vaixells d'instal·lació poden danyar els cables.
- El moviment de l'aigua i conseqüentment del sòl marí, provocat pels vaixells d'instal·lació, pot exposar els cables pre-instal·lats i més tard poden danyar-se.

Si els cables elèctrics no estan pre-instal·lats, llavors la possibilitat de danyar la turbina eòlica instal·lada també existeix, ja que en el moment de la instal·lació dels cables amb

l'ajuda d'un vaixell cabler aquestes queden molt exposades a possibles d'anys, i s'ha de tenir molta cura en aquestes maniobres d'instal·lació.

## 10. ADEQUACIÓ DELS PORTS

### 10.1. Introducció

Un parc eòlic *offshore* té un cicle de vida que es pot dividir en quatre fases, on seran necessaris personal qualificat i un equip específic per a: Pre-instal·lació, instal·lació, operació i desmantellament (Taula 10).

Fase	Pre-instal·lació	Instal·lació		Operació	Desmantellament
Tasques	Estudis geotècnics i mediambientals	Cimentacions	Turbines	Operacions de manteniment	Turbines
		Xarxa	Subestació		Subestació
Ports utilitzats	Port A	Ports A, B		Port A	Ports A, B
Vaixells utilitzats	Vaixells de servei	Vaixells d'instal·lació i servei		Vaixells de servei	Vaixells d'instal·lació i servei

**Taula 10.** Fases del cicle de vida d'un parc eòlic *offshore*.

Les diferents tasques que es duren a terme durant aquestes fases requereixen ports amb certes propietats per les instal·lacions, així com la utilització d'una varietat de vaixells amb certes capacitats i característiques.

Per exemple el port A, és un port local que és utilitzat pels vaixells de servei petits, per realitzar la transferència de personal de servei fins al parc eòlic i per operacions de manteniment. En canvi, el port B proporcionarà la infraestructura per a la instal·lació i el muntatge de les cimentacions, els generadors eòlics, les subestacions, etc. Aquests ports poden estar molt més lluny del parc eòlic.

Es presentarà un informe al port i als vaixells amb les seves tasques i especificacions necessàries durant la fase d'instal·lació i operació, estratègies d'utilització, potencial de mercat i previsions relatives als ports i als vaixells.



D'acord amb la Taula 10, hi ha dos grups de ports que han de satisfer els diferents requisits durant la fase prèvia a la instal·lació d'un parc eòlic *offshore*, un per la fase d'operació i l'altre per la fase d'instal·lació. Òbviament, el segon tipus de port necessita la infraestructura i els serveis necessaris per al maneig de grans quantitats, equips pesats i de grans dimensions, mentre que el primer tipus de port, la ubicació del port és més important que la infraestructura i les instal·lacions.

Possibles activitats al port:

- Fabricació: inclou la producció de components eòlics (pales, torres, cimentacions i cables), així com l'acoblament de góndoles i en alguns casos el conjunt complet de les turbines.
- Construcció: inclou només el pre-muntatge dels components en un port a prop del parc eòlic *offshore* al lloc de construcció.
- Operacions de manteniment: inclou el desplegament d'helicòpters i monovolums pels parcs eòlics, per donar servei de peces de recanvi previstes o imprevistes, eines i components per manteniment i reemplaçament.

## **10.2. Ports d'importació / exportació**

Un port d'importació / exportació té el propòsit de manejar els components de les turbines eòliques que han estat fabricats a terra pels diferents fabricants i transferir-los al port destinat a la construcció de les turbines. Per aquests tipus de ports no són necessàries instal·lacions per al muntatge dels aerogeneradors i els suports.

Un port d'importació / exportació requereix:

- Àrees d'emmagatzematge suficient.
- Moll capaç de suportar altes càrregues.
- Grues amb capacitats adequades.
- Capacitat per a transports de gran tonatge.
- Bona accessibilitat.



**Figura 32.** Port de Hartlepool. S'utilitzarà per l'emmagatzematge de peces per els parcs eòlica marins.  
Font: nebusiness.co.uk

### 10.3. Ports de construcció

Les activitats típiques realitzades en un port de construcció són:

- Descàrrega dels components dels vaixells de subministrament.
- Tenir tots els productes i parts necessàries per a la construcció de les turbines per tal d'assegurar la disponibilitat quan els vaixells de construcció ho requereixin.
- Muntatge de les góndoles, rotors i/o torres.
- Espai adequat per al muntatge final al costat del moll.
- Càrrega individualment dels elements o parcialment muntats dels aerogeneradors en els vaixells de construcció.
- Subministrament d'embarcacions de suport i personal. Durant la instal·lació d'un projecte es poden requerir fins a sis vaixells. Aquest tipus de servei durarà diversos anys, ja que també servirà per a operacions de manteniment futures.

Els ports de construcció han de tenir uns requisits de capacitat per a poder manejar un volum de turbines considerable.

Unes aproximacions d'aquest espai són:

- Una zona lliure de 80.000m<sup>2</sup> adequada per a col·locar i pre-acoblar els components.
- 200-300m de longitud de moll, amb gran capacitat de càrrega i accés adjacent per als vaixells d'instal·lació.
- Accés permanent a l'aigua per amarrar vaixells de fins a 140m d'eslora, 45m de màniga i 8m de calat, sense restriccions d'accés de marees o d'un altre tipus.
- Espai suficient per a poder carregar les torres al vaixell en posició vertical, tenint en compte que superen els 100m.

Aquests ports han de considerar els tipus de vaixell de construcció que es requeriran per a la construcció del parc eòlic, ja que si es fan servir *jack-up*, aquests tenen l'opció d'eleva-se, ancorant les potes al fons marí del port. Aquest fons marí ha d'estar preparat per aquestes tasques i resistir l'impacte i el pes de les potes dels *jack-up*.

A més, han de disposar d'un espai lliure superior, entre l'aigua i la part superior de les torres de càrrega del port. Aquest espai no és suficient sent de 100m quan es considera la manipulació i el transport de les turbines de vent completament muntades, ja que fan uns 160m d'alçada total. També les capacitats adequades de les grues de càrrega del moll i la capacitat de càrrega del propi moll són obligatòries per realitzar aquestes tasques: la màxima capacitat d'elevació i la càrrega del moll ha de correlacionar amb les capacitats d'elevació i càrregues de coberta dels vaixells de construcció, entre 1.000 a 1.500 t d'elevació màxima i de 10 a 15 t / m<sup>2</sup> càrrega màxima.

Els ports de construcció també poden funcionar com a ports d'importació / exportació. Si aquest és el cas, també hauran de tenir els requisits necessaris per a funcionar com a tal.



**Figura 33.** Port de Mostyn, Regne Unit. S'utilitza com a port base per la instal·lació de turbines *offshore*.

Font: offshorewind.biz



**Figura 34.** Port de Belfast, Regne Unit. S'utilitza com a port base per la instal·lació de turbines *offshore*.

Font: bloomberg.com. Fotògraf: Peter MacDiarmid / Getty Images

#### 10.4. Ports de fabricació

Cada vegada els components i les pròpies turbines són més grans de mides i pes, i per això el transport per carretera d'aquets components és menys viable per poder completar les turbines a alta mar. És per això que els components més grans com les góndoles, les pales o les torres, han de ser transportades per via marítima en algun moment de la instal·lació. Les cimentacions només es poden transportar per via marítima degut a les seves dimensions. Tenint en compte aquets paràmetres de pes i

mides d'aquests components i les previsions de creixement en els següents anys amb més construccions de parcs eòlics i més grans, es preveu que els fabricants d'aerogeneradors i cimentacions, així com alguns sub-proveïdors, puguin establir instal·lacions de fabricació en els ports adequats o propers al mateix port de construcció.

Tots els requisits proposats per als ports de construcció s'apliquen als ports de fabricació, amb les següents addicions i diferències:

- Fins a 5km<sup>2</sup> (500 hectàrees) de la superfície plana de la fàbrica i emmagatzematge de productes.
- Accés directe del moll de càrrega a l'aigua (mínim 500 m longitud).
- Facilitat de logística terrestre i l'accés a mà d'obra qualificada.



**Figura 35.** Exemple de com serà el Port de Belfast, Regne Unit. S'utilitzarà com a port base per la instal·lació i fabricació de turbines *offshore*. Font: sciencedirect.com

### **10.5. Ports d'operació i manteniment: ports de reacció ràpida**

Els ports de reacció ràpida s'utilitzen per operacions de manteniment espontànies i de curta duració. Per tant, s'han de posar a distàncies curtes dels parcs designats, per mantenir els temps de transferència de personal baix i, en conseqüència, tenir més

hores de treball al parc eòlic. Per a realitzar aquestes transferències de personal es faran servir vaixells ràpids.

Aquets ports no necessiten instal·lacions i infraestructures avançades com ara molls reforçats, grans grues i zones d'emmagatzematge i de muntatge extenses, sinó que les seves propietats típiques són:

- El parc eòlic designat ha d'estar a un màxim de 2 h.
- Moll amb 80 m de longitud com a mínim, adequat per l'atracat i el refugi dels vaixells.
- Profunditat del llit marí del port com a mínim de 3,5 m.
- Accés sense restriccions a l'aigua i assignacions de 24 h de treball pel personal.
- Capacitat de proveïment de combustible.
- Àrea d'emmagatzematge suficient de 2.000 m<sup>2</sup> mínim per a eines, petites peces de recanvi, components i els recursos generals de funcionament.
- Allotjament i alberg adequat per a 15 a 20 persones amb el subministrament d'aigua i electricitat.
- Bona connexió a la xarxa de carreteres de la via pública.

Hi ha propostes per a futurs parcs eòlics que permetrien fer totes les operacions de manteniment més ràpidament i més eficients. Aquestes propostes es caracteritzen en voler crear un petit port a alta mar (o plataforma marina) i així tenir un port de reacció ràpida que s'utilitzaria com a base pel personal i oferiria els següents serveis:

- Una estació pel transport, muntatge i manteniment de parcs eòlics al mar.
- Allotjament pel personal.
- Emmagatzematge de peces de recanvi.
- Tallers.
- Cimentacions per la posada en marxa de les turbines eòliques completament muntades.
- Lloc de prova per les noves turbines eòliques *offshore*.
- Estació transformadora.
- Subestació elèctrica per les connexions terrestres (eix elèctric).



Altres serveis no relacionats amb l'energia eòlica:

- L'aqüicultura de matèries primeres per a l'alimentació, l'energia i els materials.
- Un refugi en situacions d'emergència.
- Recreació (yachting marina).
- "Gas-to-wire" (GTW) unitats.
- Centre logístic per al sector pesquer.
- Servei de guardacostes.
- Servei de bot salvavides.
- Les empreses extraterritorials.



**Figura 36.** Port a alta mar. Font: [www.haveneilandopzee.nl/](http://www.haveneilandopzee.nl/)

## **11. FLOTA NECESSÀRIA PER A LA CONSTRUCCIÓ I EL MANTENIMENT DELS AEROGENERADORS *OFFSHORE***

### **11.1. Introducció**

El transport de la turbina eòlica (en parts separades) a la ubicació a alta mar pot ser realitzat mitjançant remolcadors, per tal de transportar les parts de la turbina flotant, amb remolcadors i plataforma flotant (simple o auto-elevable), o en un vaixell de transport tipus *jack-up*.

El transport flotant només es pot aplicar per a les peces de la turbina que compleixin amb els següents requisits:

- Les que no són sensibles als danys deguts a la penetració d'aigua. Això només s'aplica per les parts de cimentació i la torre de la turbina, parts sense la góndola.
- Que tinguin suficient flotabilitat; no es considera l'aplicació addicional de flotabilitat a l'estructura ja que no és una opció econòmica. Això implica que, si és remolcat, aquestes parts han d'incloure compartiments a prova d'aigua (acer addicional).

Així doncs, només les cimentacions de les turbines eòliques es consideren adequades pel transport flotant. Les altres parts de les turbines o inclús una turbina completa, podrien ser transportades flotant, però els costos es dispararien i no es considera una opció viable.

Un altre problema que sorgeix en considerar remolcables parts estructurals és la instal·lació un cop s'arriba a la ubicació a alta mar; les estructures han d'incloure punts d'ancoratge per tal de poder fer la col·locació adient. Això s'aplica particularment a les peces de la torre.

Pel transport en arrossegament, seran necessaris dos remolcadors pel transport de l'estructura a la seva ubicació *offshore*. En el cas de transportar en barcases, l'equip necessari depèn de la combinació del transport i instal·lació d'aquestes barcases. És necessari pel transport el següent equip:



### Separant transport i instal·lació

1x remolcador i 1x barcaça de càrrega, o bé, 1x vaixell grua amb suficient espai de càrrega i 1x remolcador (opcional).

### Combinant transport i la instal·lació

1x jack-up, o bé, 1x vaixell de construcció.

### **Exemples de transports:**



**Figura 37.** Dos remolcadors amb barcaça jack-up.



**Figura 38.** Transport flotant amb un remolcador.

Font: Gunnar Britse, [www.windpowerphotos.com](http://www.windpowerphotos.com) Font: Gunnar Britse, [www.windpowerphotos.com](http://www.windpowerphotos.com)



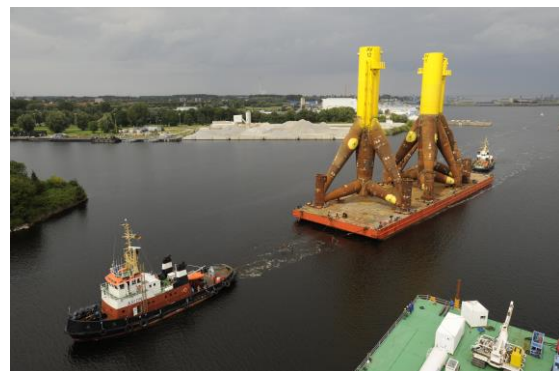
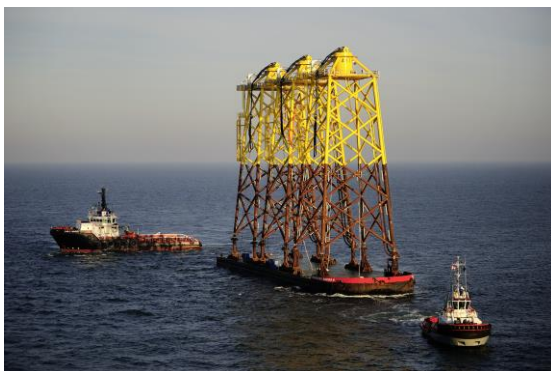
**Figura 39.** Torres transportades en un vaixell de càrrega. Font: BBC Chartering.



**Figura 40.** Cimentació *tripod* en una grua flotant. Font : Alpha Ventus.

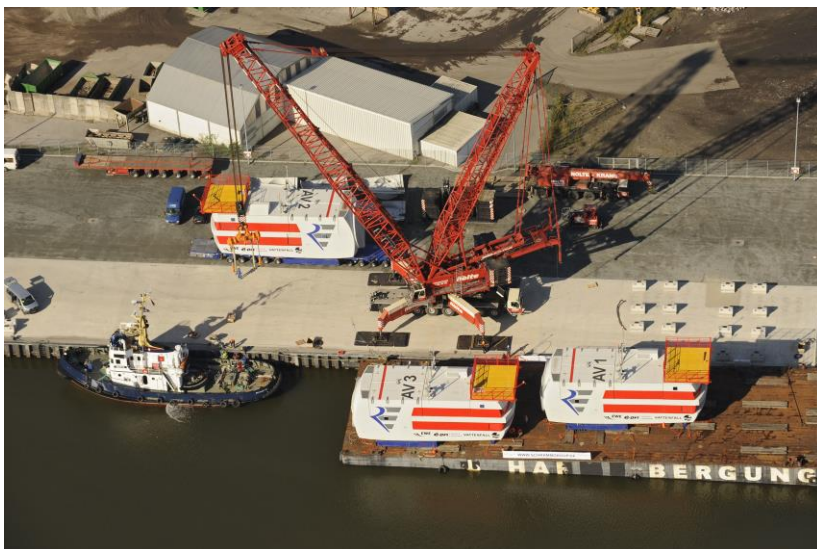


**Figura 41.** Transport de la góndola, torre i rotor amb pales amb una barcaça flotant i dos remolcadors. Font: Alpha Ventus.



**Figures 42 i 43.** Transport de cimentacions *jacket* i *tripod* (d'esquerra a dreta respectivament) amb una barcaça flotant i dos remolcadors. Font: Alpha Ventus.





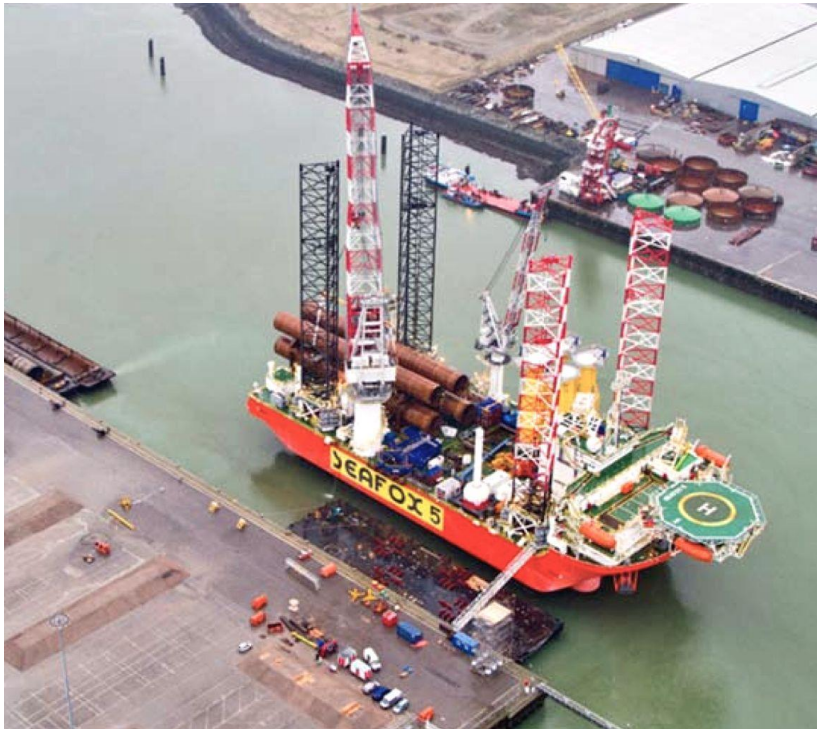
**Figura 44.** Transport de les góndoles amb una barcaassa flotant i dos remolcadors. Font: Alpha Ventus



**Figura 45.** Transport i instal·lació de les cimentacions *tripod* amb un vaixell de càrrega i construcció.  
Font: [www.heavyliftspecialist.com/wind-energy/page/2/](http://www.heavyliftspecialist.com/wind-energy/page/2/)



**Figura 46.** Jack-up transportant i instal·lant les cimentacions *tripod*. Font: *FLYING FOCUS* *luchtfotografie*



**Figura 47.** Jack-up transportant cimentacions *monopile*. Font: Skeyes [www.skeyesphoto.com](http://www.skeyesphoto.com)



**Figura 48.** Jack-up transportant torres. Font: [cranestodaymagazine.com](http://cranestodaymagazine.com)

## 11.2. Descripció de la flota

El mercat actual per la instal·lació i el manteniment d'aerogeneradors *offshore* fa un ús d'un nombre de vaixells diferents per a diferents finalitats. Un element essencial de la cadena de subministrament *offshore* serà la disponibilitat dels vaixells per facilitar la instal·lació i el manteniment per a 10.000 turbines eòliques al mar, juntament amb les cimentacions o subestructures necessàries i els cables com a objectiu pel 2020.

En comparació amb els sectors ja existents a alta mar (petroli, gas i instal·lacions marítimes), la instal·lació i manteniment que es necessita per la indústria eòlica *offshore* són extremadament exigents, a causa d'un major nombre de dies d'operació i repetitius processos d'instal·lació. Molts vaixells d'instal·lació no són ideals per a aquestes condicions, ja que el seu equip no està pensat per treballar amb aquestes condicions i no inclouen el posicionament dinàmic (DP) completament necessari per a la instal·lació dels aerogeneradors i cables.

En l'actualitat hi ha tres factors que estan impulsant el desenvolupament dels vaixells d'instal·lació de turbines (TIV):

- Mida de la turbina eòlica; per turbines més grans implica vaixells més grans.
- La profunditat de l'aigua; per a més profunditat en el punt d'instal·lació de la turbina, més car i més gran serà el vaixell d'instal·lació de la turbina.
- La distància de la costa, ja que com més lluny del port de subministrament (i major és la capacitat de les turbines) els costos de transport fins a l'emplaçament seran majors.
- Optimització de la instal·lació en un moment donat.

La tendència tecnològica actual afavorirà que es construeixin grans vaixells capaços de transportar diversos aerogeneradors pre-muntats. Els vaixells d'instal·lació de turbines tenen l'avantatge de ser fets a la mida per la tasca que estan destinats, de ràpids moviments, autopropulsats, vaixells de multi-turbina que poden aprofitar plenament les condicions meteorològiques òptimes en espais determinats de temps.

El propòsit d'aquest capítol és descriure les embarcacions necessàries per el desenvolupament de parcs eòlics marins. Es poden utilitzar molts tipus de vaixells segons cada etapa del procés d'instal·lació i manteniment. Segons el tipus de parc eòlic i com es volen transportar i instal·lar les turbines, faran falta uns vaixells o uns altres.

Aquets són els principals vaixells que es fan servir per la construcció i manteniment dels parcs eòlics marins (més endavant es definiran més acuradament):

- Vaixells d'investigació oceanogràfica: utilitzats per estudiar el sòl marí, batimetria i onatge.
- Vaixells de càrrega: de grans capacitats de càrrega, pel transport dels aerogeneradors.
- Vaixells grua: vaixells de càrrega i amb una grua especialitzada per a càrregues pesades per ajudar a la construcció en alta mar.
- Vaixells *Anchor Handling Tug* AHTS: per ancorar vaixells, plataformes i aerogeneradors flotants.
- Vaixells de subministrament (PSV *platform supply vessels*): transport de recanvis, personal.
- Remolcadors: per remolcar parts de la turbina i plataformes flotants i ajuda en maniobres.
- Vaixells Jack-up: pel transport, i s'eleven sobre el nivell del mar per instal·lar els aerogeneradors.
- Vaixells cablers: encarregats d'instal·lar els cables elèctrics.
- Robots ROV per a operacions de suport de vaixells: robots pel suport de manteniment i instal·lació dels cables elèctrics.
- Vaixells de transferència de personal: embarcacions encarregades del transport del personal necessari per la instal·lació i manteniment del parc eòlic.
- Vaixells Hotel: destinats a l'allotjament a alta mar de tècnics i operaris.

### 11.2.1. Vaixells d'investigació oceanogràfica

Aquests vaixells s'utilitzen per realitzar estudis geofísics en una etapa principal en el procés de planificació d'un parc eòlic a alta mar per proporcionar una visió de la idoneïtat de la ubicació per la construcció del parc eòlic. Proporcionen informació sobre els sediments, roques i estats geològics del fons del llit marí. Els resultats d'aquestes estudis són utilitzats inicialment per avaluar el potencial pel desenvolupament del parc eòlic, els estudis revelen informació necessària per a l'enginyeria d'aigües poc profundes (per exemple, ubicació i disseny de les cimentacions de la turbina i el cablejat). Durant la construcció, aquests estudis serveixen per planificar bé el recorregut dels cables elèctrics i per comprovar amb exactitud el punt d'ancoratge de les cimentacions i dur a terme possibles rectificacions en cas que el terreny no sigui del tot adequat.

#### *Funcionament:*

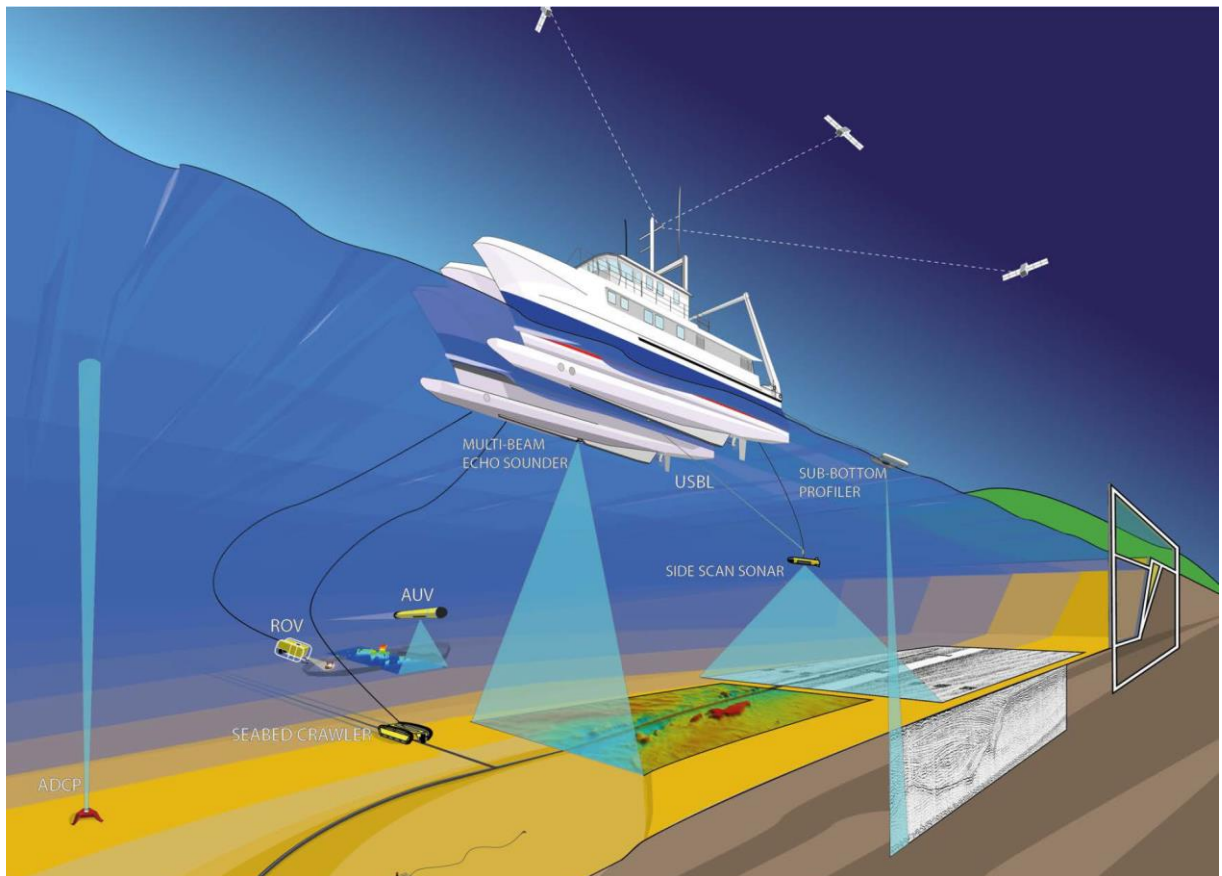
S'utilitzen fonts d'alta energia acústica per transmetre el so a l'aigua fins al fons del mar. Quan les ones acústiques troben un canvi d'impedància acústica, per exemple, hi ha els canvis de composició de roca o sediments, una part de la seva energia és reflectida de nou al receptor del vaixell, per formar una imatge. La resolució és més important que la profunditat de penetració.

També s'utilitzen els *Boomers* i *Sparkers*, tots dos tenen un ús habitual per a estudis de parcs eòlics. Els *Boomers* consten de dues plaques separades per una bobina a través de la qual es crea un impuls d'alta tensió. El camp magnètic resultant fa que una placa vibri i emeti l'energia acústica a l'aigua circumdant. Els *Sparkers* també generen so d'un alt impuls de tensió, però aquest so és generat per les oscil·lacions de les bombolles de gas produïdes a partir de la pujada ràpida de la temperatura, causada per la formació d'una espurna a través d'un parell d'elèctrodes.

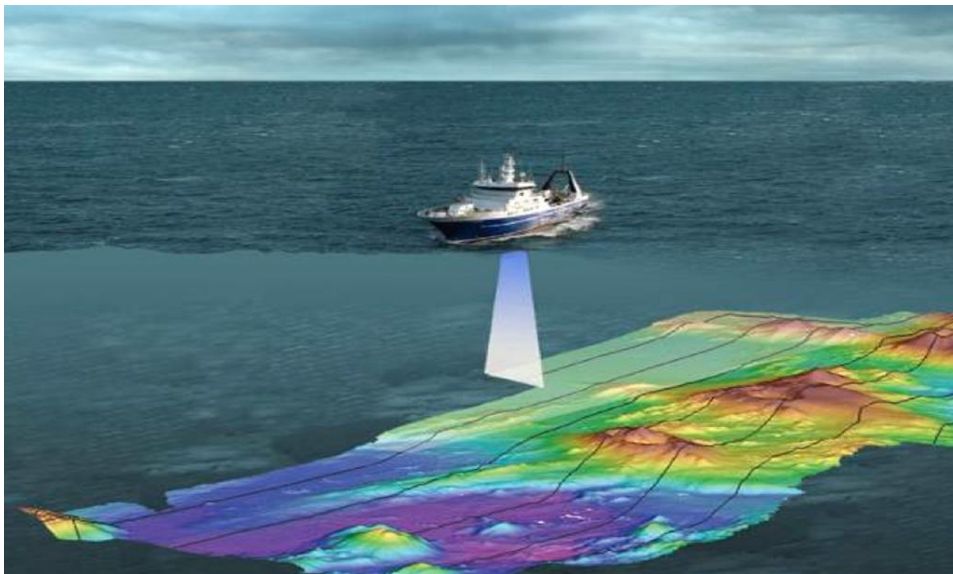
Els perfiladors d'alta freqüència sub-inferiors utilitzen transductors piezoelèctrics i proporcionen una major resolució, però sacrificant la profunditat de penetració. Aquests es poden utilitzar per la planificació de la ruta del cablejat del parc eòlic.



Els estudis realitzats amb aquests aparells proporcionen una imatge del fons marí i de les seves qualitats per la instal·lació del parc eòlic marí.

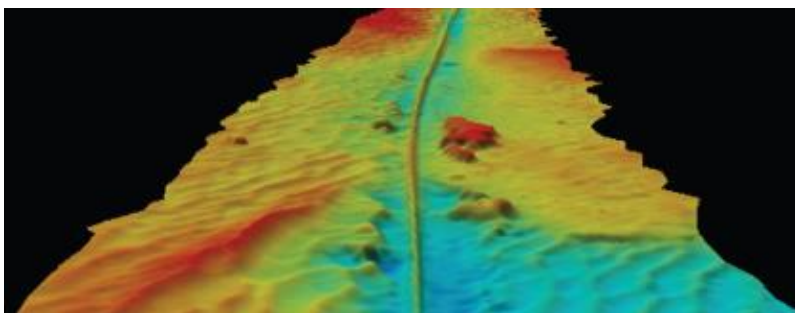


**Figura 49.** Estudi del fons marí. Font: Osiris projects.



**Figura 50.** Resultat estudi oceanogràfic. Font: National Institute of Water & Atmospheric Research, [www.niwa.co.nz](http://www.niwa.co.nz)





**Figura 51.** Imatge del cable elèctric instal·lat. Font Osiris Projects.

Hi ha molts vaixells, de tipus i grandàries diferents, que realitzen estudis oceanogràfics. A continuació s'exposa un exemple, el Bibby Tethra, un vaixell catamarà oceanogràfic de l'empresa Osiris Projects:



**Figura 52.** Vaixell oceanogràfic Bibby Tethra. Font: Osiris Projects

El vaixell d'investigació especialitzada, Bibby Tethra, és un catamarà d'alta especificació del fons marí. El vaixell ofereix una plataforma excepcionalment estable de treball a causa del seu avançat disseny del casc i té un sistema de propulsió dièsel-elèctric que el fa ser més econòmic per desenvolupar les seves tasques. Ofereix una sèrie de característiques úniques per a un vaixell d'aquesta grandària, incloent posicionament dinàmic.

Té incorporat a bord un complet equip de treball per realitzar estudis geofísics, geotècnics, ambientals, i amb capacitat ROV.

El vaixell té un casc d'alumini i va ser construït a la drassana Socarenam a Saint-Malo a França el febrer de 2010. Després va ser remolcat de Socarenam a Boulogne, on es va habilitar pel seu funcionament.

El disseny del casc del vaixell es basa en el concepte SWATH, on la flotabilitat del casc es col·loca per sota de la línia d'aigua. L'àrea de la superfície del casc del vaixell, prop de la línia d'aigua, es redueix significativament quan es compara amb una forma de casc convencional, el que significa que les ones que passen a través d'ell tenen un efecte significativament més inferior de aixecament del casc. Això té un gran efecte en la minimització d'elevació, capcineig i moviments de balanç de l'embarcació i proporciona un perfil d'estabilitat similar al d'una embarcació monocasc convencional el doble de gran.

Construït per l'Oficina de regles de la classe Veritas (BV), el Bibby Tethra està equipat amb una àmplia gamma de seguretat, salvavides i equips de comunicació que supera els requisits de la legislació vigent.

El vaixell proporciona una eficient capacitat de 24 hores de funcionament amb un màxim de setze tripulants a bord, amb una durada màxima de catorze dies. L'allotjament està organitzat en quatre habitacions amb bany, cabines dobles a la coberta principal i quatre cabines dobles a la coberta inferior, dos a cada nucli, amb bany compartit.

El pont de la nau està equipat amb un excepcionalment alt nivell amb l'última electrònica de navegació, incloent ECDIS i un sistema fet a mida de posicionament dinàmic (DP1), aprovats per BV (AM / AT estàndard). Per l'estudi i les operacions de DP és proporcionat per un parell d'unitats de Ixsea de referència d'alta precisió de moviment (MRU). L'última Ixsea sistema inercial de navegació HYDRINS proporciona dades primàries pels sensors dels estudis i un Octans de quarta generació de fibra òptica i el MRU proporciona dades primàries al processador DP.

El pont també inclou tant els laboratoris dels estudis en línia i fora de línia i es configura amb un fàcil accés a la coberta superior posterior i la maquinària de càrrega amb comandament a distància del sonar i vigilància CCTV de totes les activitats de la

plataforma. Tots els sistemes de registre de dades es troben refrigerats i silenciat, i estan protegits per una sèrie de sistemes d'alimentació ininterrompuda (UPS).

L'equip de coberta inclou una grua ploma articulada de 18 t/m.

El Bibby Tethra està equipat amb una sèrie de receptors GPS. El receptor d'exploració primària és un C & C Technologies C-Nav 3050 RTK habilitada per a la fixació de precisió de la posició i la reducció de temps vertical real. L'última versió del programari QPS Qinsy proporciona una integració completa dels sensors d'estudis diversos, inclosa la línia automatitzada de manteniment a través del sistema DP o el pilot automàtic, el registre de les dades de navegació i entrades perifèriques.

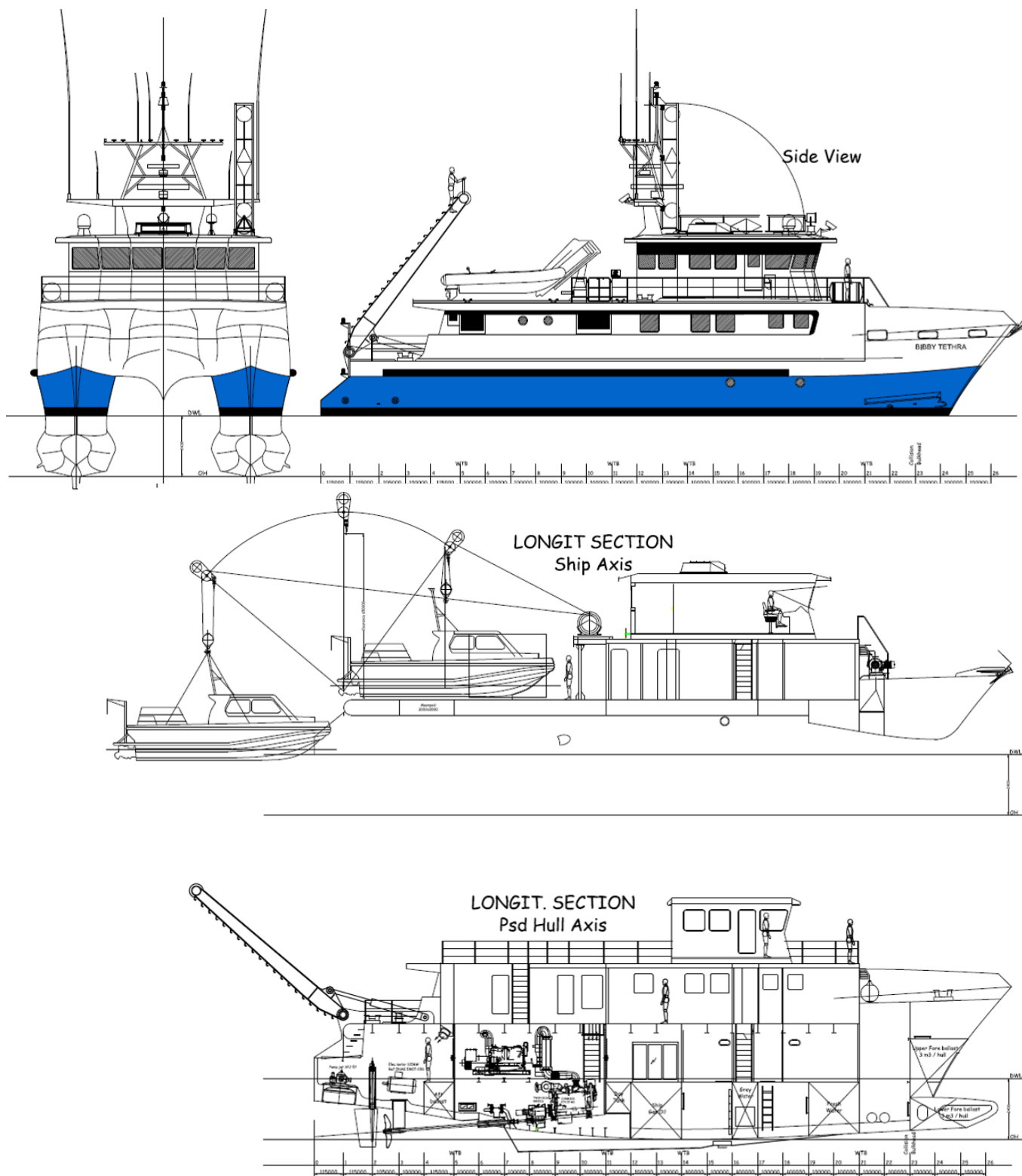
Bibby Tethra començar la seva vida laboral al 2012 a les inspeccions de ROV de canonades de petroli i gas al mar irlandès.

#### Descripció del vaixell:

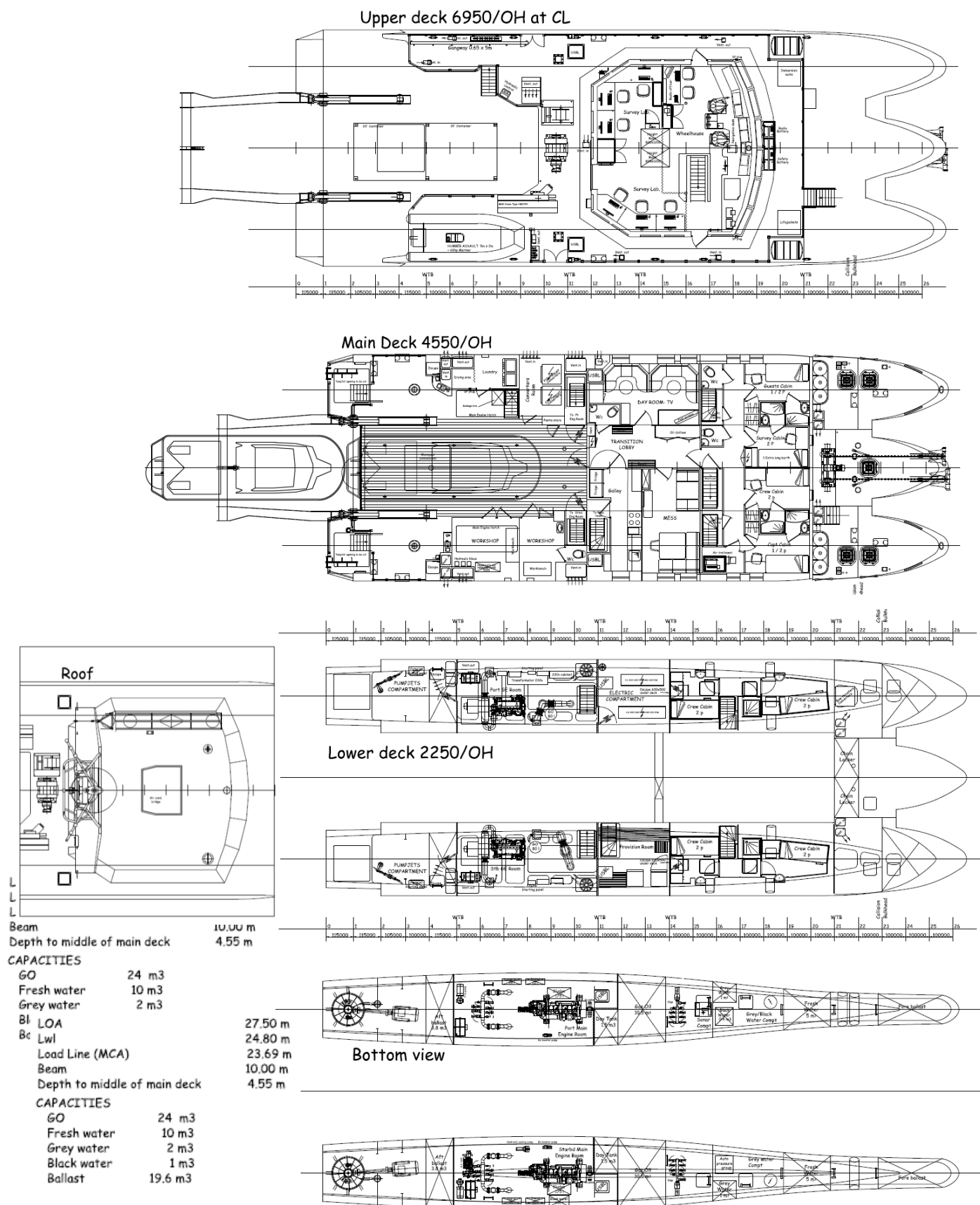
<b>Constructor</b>	Socarenam Boulogne, França
<b>Any</b>	2011
<b>Eslora (LOA)</b>	27,50 m
<b>Màniga</b>	10,00 m
<b>Calat</b>	3,30 m
<b>Tonatge</b>	134 GT
<b>Classificació</b>	Bureau Veritas - Special Service Oceanographic Research
<b>Bandera</b>	British
<b><u>PROPULSIÓ</u></b>	
<b>Motors principals</b>	2 x Cummins KTA19 M3 HD (477kW each) marine diesels driving fixed pitch 5 blade propellers through rigidly mounted Twin Disc MG516C gearboxes.
<b>Motors auxiliars</b>	2 x Diesel electric Schottel SPJ57 azimuth pump jets.
<b>Hèlixs de proa</b>	3 x 50kW each 480mm diameter

	tunnel thrusters.
<b><u>GENERADORS</u></b>	
<b>Generadors principals</b>	2 x Cummins QSM11 D (300kVA each) generators
<b>Auxiliars</b>	2x 415V 3 phase 63A 160kVA supplies.
<b><u>RENDIMENT</u></b>	
<b>Velocitat màxima</b>	12 nusos
<b>Velocitat econòmica</b>	10 nusos
<b>Velocitat de treball</b>	6 nusos
<b>Resistència</b>	> 10 dies
<b><u>CAPACITAT DELS TANCS</u></b>	
<b>Gasoil</b>	24 m <sup>3</sup>
<b>Aigua dolça</b>	10 m <sup>3</sup>
<b>Llast aigua salada</b>	19,6 m <sup>3</sup>

**Taula 11.** Característiques del Bibby Tethra. Font: Osiris Projects.



**Figura 53.** Plànols Bibby Tethra. Font: Osiris Projects.



**Figura 54.** Plànols Bibby Tethra. Font: Osiris Projects.

### 11.2.2. Vaixells de càrrega

Els vaixells de càrrega estan dissenyats pel transport de peces i objectes de pes i volums considerables com aerogeneradors, plataformes petrolíferes, grues...etc. Aquests vaixells són de grans dimensions i de capacitats molts grans de càrrega, amb espais amplis pel carregament i maniobrabilitat d'aquest.

Entre els bucs de càrrega pesada hi ha dos grans grups:

- **Els semi-submergibles:** tenen la capacitat d'enfonsar-se en l'aigua (omplint els tancs de llast) amb la finalitat d'estibar el carregament. Després que la càrrega estigui situada adequadament i ferma, el vaixell buida els tancs de llast i així emergeix la zona de càrrega per tal d'iniciar el trajecte cap al punt desitjat. Aquests vaixells tenen l'avantatge de poder carregar i transportar grans volums, i poden navegar amb condicions desfavorables del mar.



**Figura 55.** Vaixell semi-submergible Mighty Servent 3. Font: marinelog.com

#### Avantatges

- Molt flexible per la càrrega o grans quantitats de càrrega.
- És capaç de transportar càrregues de grans dimensions.

#### Inconvenients

- És molt ampli i no pot tenir cabuda en molts ports.
- Ha de maniobrar en aigües molt profundes.

- **Els convencionals:** aquests vaixells són de càrrega general, destinats a carregar tot tipus de càrrega. Tenen menys espai i capacitat de càrrega que els semi-submergibles, però tenen major maniobrabilitat i, a més a més, tenen capacitat pròpia de càrrega i descàrrega, ja que disposen de grues per poder realitzar aquesta tasca.

#### Avantatges

- Pot moure grans quantitats de càrrega.
- Capaç de moure peces de grans dimensions a la coberta.

#### Inconvenients

- Vaixells grans de més de 240 metres.
- Necessiten un gran calat per a treballar.
- Coberta limitada i capacitat d'emmagatzematge inferior.

Aquests vaixells seran més efectius pel transport dels aerogeneradors, millors que els semi-submergibles.

Hi ha molts tipus diferents de vaixells de càrrega, de grandàries diferents i amb diferents finalitats de càrrega i maniobrabilitat d'aquesta. A continuació s'exposa un exemple, el BBC Elbe de l'empresa BBC Chartering:



**Figura 56.** Vaixell de càrrega BBC ELBE. Font: BBC Chartering.





**Figura 57.** Vaixell de càrrega BBC ELBE. Font: BBC Chartering.

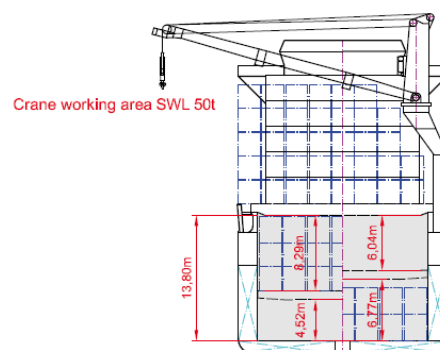
#### Descripció del vaixell:

<b>Tipus de vaixell</b>	Carga general / Multipurpose Tweendecker
<b>Construït</b>	Jiangzhou Unió Naval Co Ltd, Xina 2006
<b>Eslora (LOA)</b>	143,14 m
<b>Màniga</b>	22,8 m
<b>Calat</b>	9,8 m
<b>Desplaçament</b>	17348 t
<b>Classificació</b>	GL + 100 A5 ICE E3 G + MC E3 AUT  reforçat per càrregues pesades, preparat per el transport de contenidors, equipat per al transport de mercaderies perilloses
<b>Bandera</b>	Alemanya

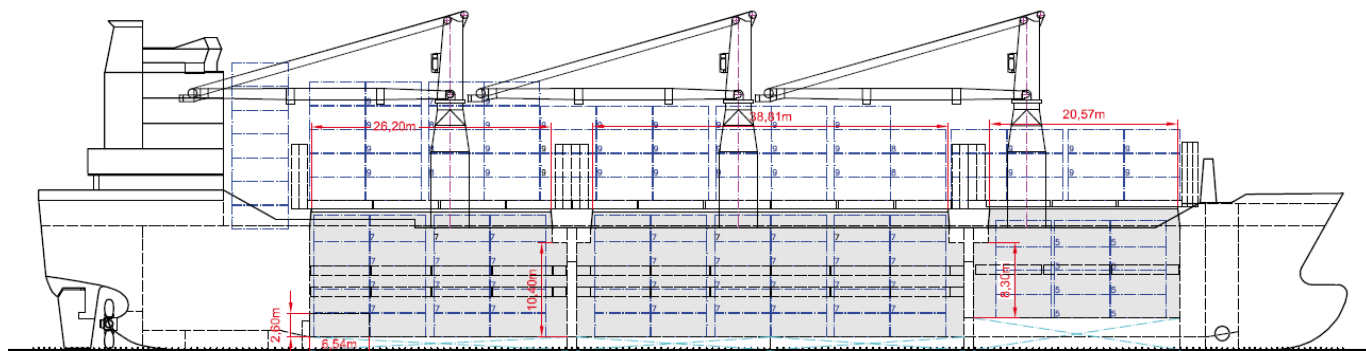
<b><u>PROPULSIÓ</u></b>	
<b>Motors principals</b>	Un motor dièsel Mak 6 cilindres, 5.400 kW , conduint una hèlix de pas controlable
<b><u>RENDIMENT</u></b>	
<b>Velocitat màxima</b>	15 nusos
<b>Consum de combustible</b>	29.0 mt RMG 380 fuel per day at sea 2.1 mt MGO DMA per day in port without gear 4.7 mt MGO DMA per day in port with gear
<b><u>HOLDS/HATCHES/CRANES</u></b>	
<b>Capacitat de carga</b>	21,496 cbm / 759,121 cbft
<b>Superfície sota coberta</b>	3,184 sqm / 34,276 sqft 2,885 sqm / 31,062 sqft (BBC Weser)
<b>Superfície a la coberta</b>	1,480 sqm / 15,930 sqft
<b>Grues</b>	3 grues NMF situades a babord 80 mt de capacitat cadascuna / 160 mt capacitat combinada

**Taula 12.** Característiques vaixell BBC Elbe. Font: BBC Chartering.

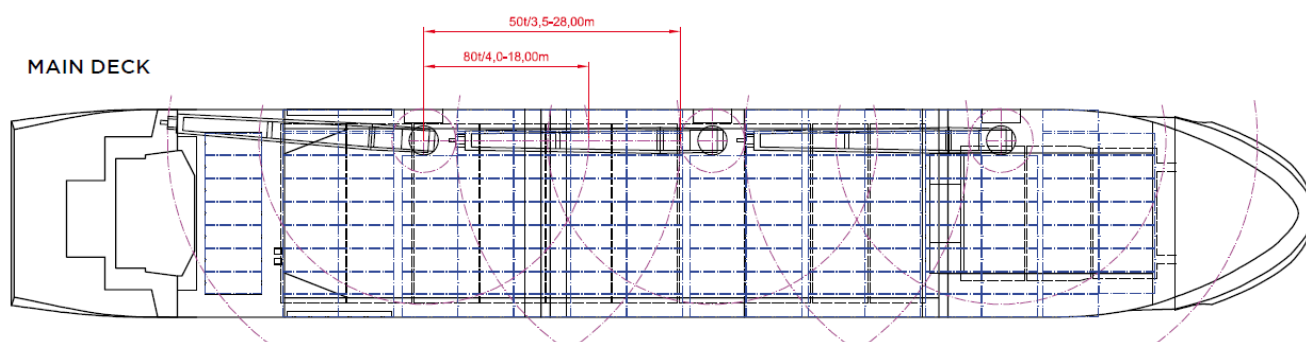
**Figura 58.** Plànols vaixell BBC Elbe. Font: BBC  
Chartering



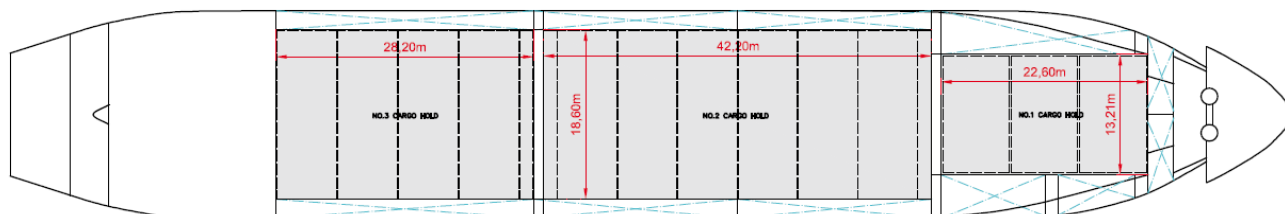
#### SIDE VIEW



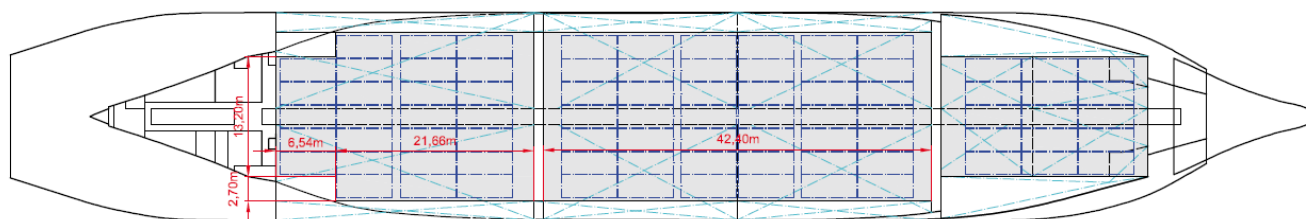
#### MAIN DECK



#### TWEENDECK



#### HOLDS & DOUBLE BOTTOM



### 11.2.3. Vaixells grua

Aquets vaixells es caracteritzen perquè incorporen una gran grua especialitzada en l'aixecament de càrregues pesades. Amb aquesta grua poden carregar i descarregar amb facilitat la càrrega desitjada, però generalment estan pensats per carregar i instal·lar en alta mar els components desitjats.

Hi ha molts tipus diferents de vaixells de grua, de grandàries diferents i grues de diferents dimensions i capacitats de càrrega per tal de realitzar les maniobres adequades. A continuació s'exposa un exemple, el Strashnov OLEG de la companyia Gusto MSC:



**Figura 59.** Vaixell Strashnov OLEG. Instal·lant les cimentacions *monopile*. Font: Gusto MSC

Una característica única de l'embarcació és la forma del casc innovador, que li permet aconseguir una velocitat de 14 nusos.

La grua principal, amb capacitat de rotació, situada a la popa de l'embarcació. Amb alçades d'elevació de 102m pel ganxo principal i 5.000 mt, i pel ganxo auxiliar 134m i 800mt, permet al vaixell dur a terme moltes tasques diferents amb ganxo doble i carregar i instal·lar cimentacions i torres d'aerogeneradors de grans dimensions.

El vaixell està equipat amb un sistema innovador de posicionament dinàmic, que li proporciona una gran efectivitat per realitzar tasques de manteniment i operacions amb la grua en zones d'aigües profundes i poc profundes a tot el món.

Per a les operacions de manteniment té dues hèlixs retràctils de pas fix azimuthals en tovera sota el nivell de la quilla, de 3.500 kW cadascuna, i dos propulsors de túnel de pas a la proa, de 1.012 kW cadascun. Dues hèlixs de pas fix no retràctil azimuthals de tovera a popa, amb una capacitat de 5.000 kW cadascuna.



**Figura 60.** Vaixell Strashnov OLEG de carga (Havy Lift) transportant una sub-estació. Font: Skeyes per elevació Seaway Heavy (c).

#### Descripció del vaixell:

<b>Constructor</b>	IHC Krimpen shipyard
<b>Any</b>	2011
<b>Eslora (LOA)</b>	183,0 m
<b>Màniga</b>	47,0 m
<b>Calat</b>	18,2 m
<b>Desplaçament</b>	48000 t
<b>Classificació</b>	1A1 CRANE VESSEL CLEAN DK(+) HELDK-SH DYNPOS AUTRO E0 BIS



<b><u>PROPULSIÓ i DP</u></b>	
<b>Motors principals</b>	Propulsors azimuthals 2 x 5.000 kW
<b>Motors auxiliars</b>	propulsors retractables azimuthals 2 x 3.500 kW
<b>Propulsors de túnel</b>	2 x 1,012 kW
<b><u>GENERADORS</u></b>	
<b>Generadors principals</b>	6 x 4,500 kW Diesel
<b>Auxiliars</b>	1 x 1,200 kW Diesel
<b><u>RENDIMENT</u></b>	
<b>Velocitat màxima</b>	14 nusos
<b><u>CAPACITAT DELS TANCs</u></b>	
<b>Fuel oil</b>	3.800 m <sup>3</sup>
<b>Aigua dolça</b>	2.300 m <sup>3</sup>
<b>Llast aigua salada</b>	50.500 m <sup>3</sup>
<b><u>ALLOTJAMENT I HELIPORT</u></b>	
<b>Allotjament</b>	220/395 persones
<b>Heliport</b>	Sikorsky S61N / S92

**Taula 13.** Característiques vaixell Strashnov OLEG. Font: Gusto MSC.

El vaixell Strashnov Oleg té una gran grua giratòria amb una gran capacitat de càrrega i elevació. És del model GDC-5000-ED de l'empresa Gusto MSC, és d'accionament elèctric i de bastidor plegable.

La sèrie Gusto MSC GDC és una gamma de càrrega pesada i són grues marines totalment giratòries. Aquestes grues poden girar 360 ° sense restriccions.

El GDC-5000-ED és capaç d'aixecar i girar completament la seva càrrega màxima de 5.000 tones en un radi mínim de 32 m amb un factor dinàmic de 1,1.

La grua és moguda per un motor elèctric, el marc de la grua gira sobre un sistema de corrons , que es troba a la part de la coberta superior del vaixell.

El GDC-5000-ED combina una alta capacitat i baixa pressió amb un radi mínim de gir que la fa ideal per a operacions *offshore* de càrrega pesada o per la instal·lació de peces de turbines de vent i / o altres components pesats.

Les velocitats d'elevació es poden controlar i variar en cada moment i depenen de la càrrega. Es pot controlar a través d'una pantalla TFT situada a la cabina de control.



**Figura 61.** Grua del vaixell Strashnov OLEG.  
Font: Gusto MSC.

La grua està equipada amb els equips més moderns de seguretat com la protecció contra sobrecàrrega, mesurador de velocitat del vent amb indicador i alarma a la cabina. També un dispositiu de senyal d'alarma (visual i acústica), d'emergència, pulsadors d'aturada d'emergència, extintors d'incendis i detectors de foc.

Especificacions generals de la grua:

<b><u>DIMENSIONS PRINCIPALS</u></b>	
<b>Pes de la grua</b>	Totalment equipada 6,0 t
<b>Longitud</b>	22 m
<b><u>ELEVACIÓ PRINCIPAL</u></b>	
<b>Calat</b>	18,2 m
<b>Capacitat d'elevació i radi</b>	5.000 t - 32 m
	2.500 t - 54 m
<b>Altura del ganxo sobre la coberta principal</b>	91 m altura approx. - 43 m radi
	98 m altura approx. - 26 m radi
<b><u>ELEVACIÓ SECUNDARIA 1</u></b>	
<b>Capacitat d'elevació i radi</b>	800 t - 72 m
	500 t – tots els radis
<b>Altura del ganxo sobre la coberta principal</b>	130 m
<b><u>ELEVACIÓ SECUNDARIA 2</u></b>	
<b>Capacitat d'elevació i radi</b>	200 t - 90 m
<b>Altura del ganxo sobre la coberta principal</b>	109 m
<b><u>FONT D'ALIMENTACIÓ</u></b>	
<b>Font d'alimentació principal</b>	6.600 V, 50 Hz
<b>Consum total d'energia</b>	6,500 kW

**Taula 14.** Característiques generals de la grua del vaixell Strashnov OLEG. Font: Gusto MSC.



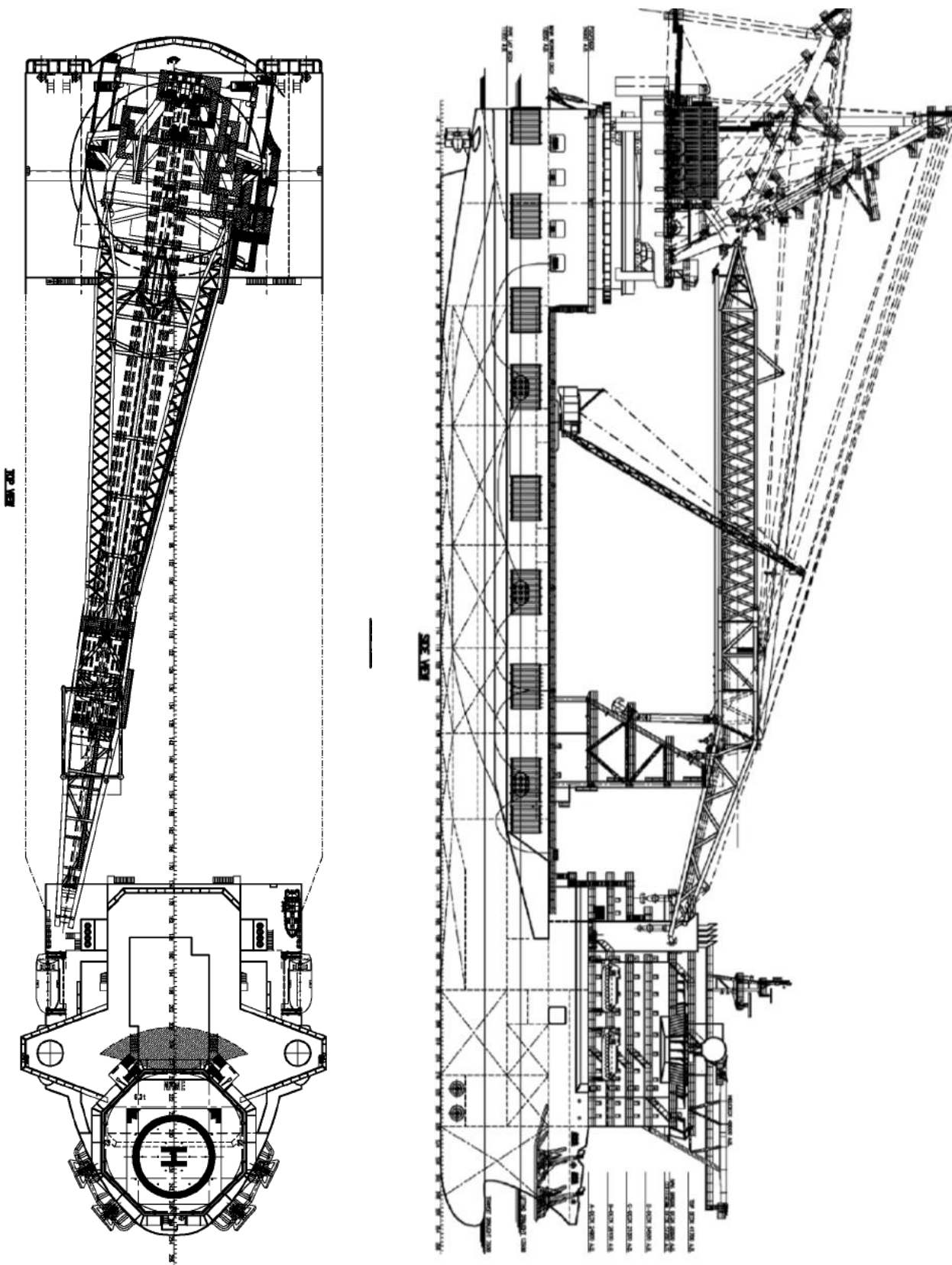


Figura 62. Plànols del vaixell Strashnov OLEG. Font: Gusto MSC.

#### 11.2.4. Vaixells Anchor Handling Tug AHTS

Els vaixells AHTS estan pensats per ancorar i mantenir en la posició correcta vaixells, plataformes flotants i generadors eòlics flotants. Mitjançant el posicionament dinàmic, el vaixell col·loca un sèrie d'àncles en uns punts concrets del fons marí, i gràcies al posicionament dinàmic el vaixell pot estar exactament en el punt on ha d'instal·lar les àncores. Aquestes àncores tenen unes cadenes per tal de poder-les fixar amb altres vaixells, plataformes flotants o amb la base del generador eòlic i així aquest es mantindrà en una posició fixa i ferma.

Són vaixells que poden realitzar diverses tasques. A part del maneig de les àncores poden donar suport de busseig, col·locació de boies, subministrar aigua i combustible a altres vaixells, extinció d'incendis, evacuació de personal i també poden servir per a càrrega general.

Són vaixells que tenen una tripulació aproximadament de 20 tripulants. Amb un període a bord del vaixell d'entre 2 i 4 setmanes, depenent de les tasques a realitzar.

Aquests vaixells tenen un pont de comandament i operacions a proa, una càmera de màquines, i un espai per la tripulació (cuina menjador).

Són vaixells amb una gran màniga que proporciona una gran estabilitat per tal de realitzar les operacions a les quals està destinat amb tota comoditat i precisió.



**Figura 63.** Vaixell AHTS Siem Amethyst. Font: SIEM offshore.

Hi ha molts tipus de vaixells AHTS, amb mides i capacitats molt diverses. A continuació s'exposa un exemple, el Siem Amethyst de l'empresa SIEM offshore:

És un vaixell AHTS amb una gran capacitat, dissenyat pel remolc i el maneig d'àncores, el treball d'inspecció en aigües profundes i a la construcció, així com per dur a terme el proveïment regular i funcions de suport a la indústria *offshore*. El vaixell té un disseny per optimitzar el consum de combustible amb un funcionament mecànic híbrid dièsel-elèctric.

El vaixell està dissenyat per aigües profundes i per treballs equipats amb els robots ROV, d'acord amb els últims requisits de la indústria, per dur a terme un treball eficient i per la protecció màxima i la seguretat de la càrrega i la tripulació.

A bord del vaixell poden ser acomodats un total de 60 membres de la tripulació. Hi ha 20 cabines individuals i 20 cabines dobles. Les instal·lacions a bord del vaixell inclouen una oficina de coberta, hospital, sala de conferències i gimnàs. Hi ha també una habitació de refrigeració i una càmera de congelació, d'uns 15 m<sup>2</sup> i 13m<sup>2</sup>, respectivament.

Està equipat amb una grua de coberta Hydramarine i una grua ROV. La grua de coberta té 15 m d'abast i pot aixecar 3 tones de càrrega, mentre que la grua ROV pot aixecar 10 tones a 18 metres d'abast. La tercera és una grua de pòrtic de 42t de capacitat.

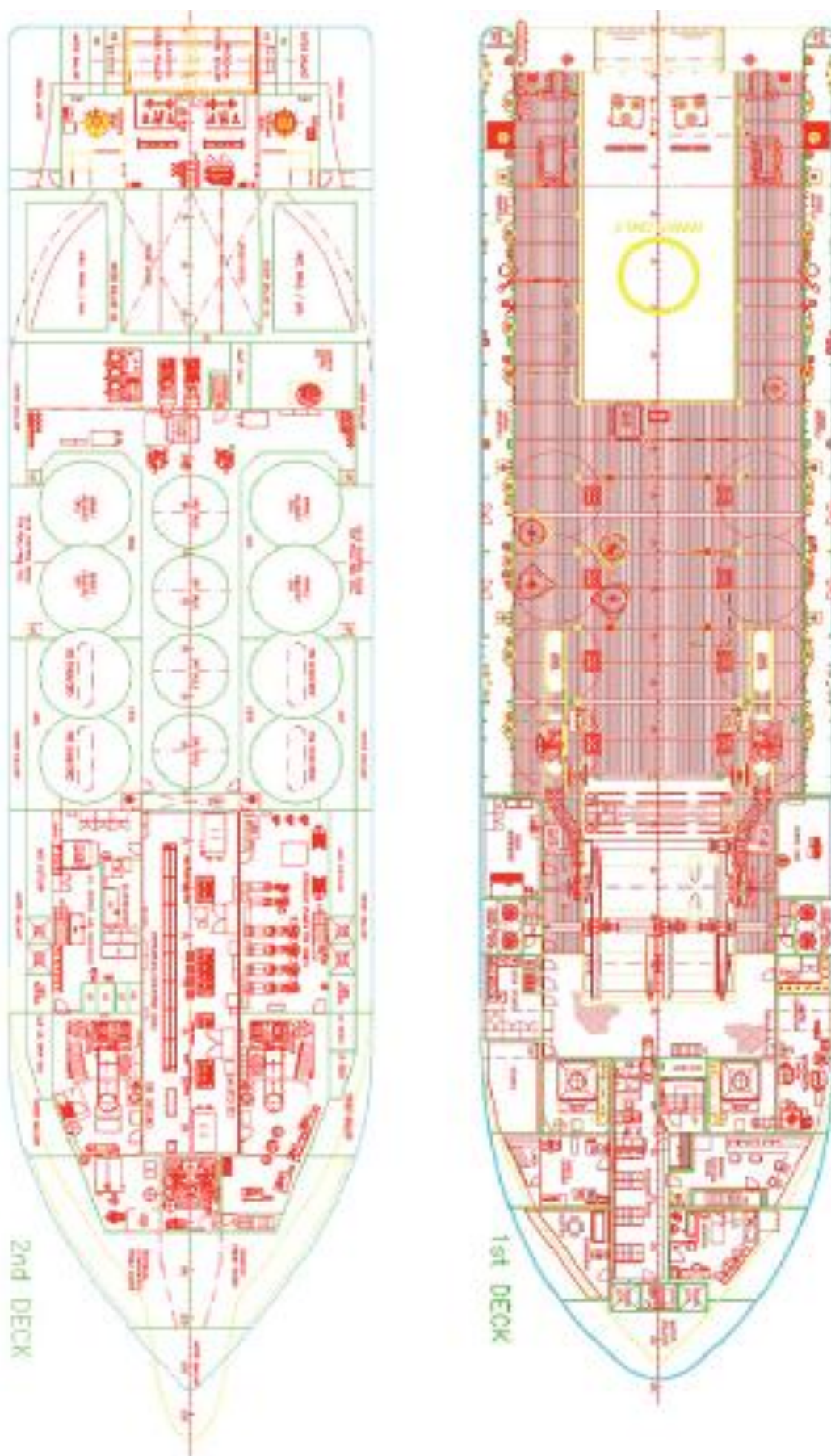
El posicionament de l'embarcació i les maniobres es determinen automàticament per un sistema de posicionament dinàmic (DP) Kongsberg K-Pos DP-21. El sistema d'automatització integrat (IAS) va ser subministrat per Wärtsilä, mentre que el sistema de navegació i comunicació va ser subministrat per Emil Langva.

Un altre equip inclou un sistema de climatització, separadors, caldera, sistema contra incendis interna i un sistema de tractament de l'aigua de llast.

Descripció del vaixell:

<b>Constructor</b>	Kleven Verft.
<b>Any</b>	2011
<b>Eslora (LOA)</b>	91,0 m
<b>Màniga</b>	22,0 m
<b>Calat</b>	7,95 m
<b>Tonatge brut</b>	7473 t
<b>Tonatge net</b>	2241 t
<b>Classificació</b>	DnV +1A1, ICE - C, Tug, Supply Vessel, Oilrec, SF, EO, Dynpos-Autr, Clean Design, Naut-OSV (A), Comf-V(3), (C3), T-Mon, BIS, DK(+), HL(2.8), Fifi, St.By, De-Ice, NOFO2009
<b><u>PROPULSIÓ</u></b>	
<b>Motors principals</b>	2 motors Wärtsilä 16V32 de 9.500 kW.
<b>Motors auxiliars</b>	4 propulsors de túnel Brunvoll, 2 a proa i 2 a popa
<b>Hèlix</b>	830 kw Brunvoll retràtil
<b><u>GENERADORS</u></b>	
<b>Generadors principals</b>	2x ALCONZA de 3.400 ekW
<b>Auxiliars</b>	2xCaterpillar 3516TA C de 2.100 ekW
<b>Emergència</b>	425ekW
<b><u>RENDIMENT</u></b>	
<b>Velocitat màxima</b>	18 nusos
<b><u>CAPACITAT DELS TANCS</u></b>	
<b>Fuel oil</b>	1223,8m3 / 1052,5t
<b>Aigua dolça</b>	1071,8m3 / 1071,8t
<b>Llast aigua salada</b>	2887,6m3 / 2959,8t
<b><u>ALLOTJAMENT</u></b>	
<b>Allotjament</b>	60 persones

**Taula 15.** Característiques generals del vaixell AHTS Siem Amethyst. Font: SIEM offshore.



**Figura 64.** Plànols del vaixell AHTS Siem Amethyst. Font: SIEM offshore.

### **11.2.5. Vaixells de subministrament (PSV platform supply vessels)**

Aquests vaixells estan dissenyats per subministrar a plataformes marines de petroli i parcs eòlics *offshore*. Tenen una eslora entre 20 i 100 metres de longitud i poden realitzar una varietat de tasques. La funció principal de la majoria d'aquests vaixells és el transport de materials, recanvis, eines, subministraments i personal cap i des de les plataformes petrolíferes marines i a parcs eòlics *offshore*.

#### Suport tècnic

La majoria té una combinació de càrregues a la coberta i càrregues a granel en tancs sota coberta. Molts vaixells es construeixen (o es modifiquen) per realitzar un treball determinat. Alguns d'aquests vaixells estan equipats amb una capacitat d'extinció d'incendis, així com també un equip per la contenció de petroli i de recuperació per ajudar a la neteja d'un vessament al mar.

#### La vida a bord

Normalment, les tripulacions d'aquests vaixells poden comptar fins a 20 membres de tripulació. Els equips normalment estan destinats a treballar i viure a bord del vaixell per un període prolongat de temps, entre 3 i 6 setmanes i a vegades més.

La majoria dels vaixells de subministrament estan proveïts d'un pont àrea per operar la nau, espais de màquines, espais d'habitatge i una àrea per cuinar i menjar.

Els espais d'allotjament consten d'una zona de lliteres, taquilles i espais per guardar objectes personals. Les zones d'estar disposen de lavabos i dutxes. Els oficials disposen de cabines privades amb dutxes i lavabos.

#### Característiques

- Aprovisionador net, porta càrrega en coberta, en tancs i sitges.
- No té grues de remolc ni de treball.
- Menor potència en màquines que un AHTS.



Hi ha molts tipus de vaixells PSV, amb mides i capacitats molt diverses, a continuació s'exposa un exemple, el Normand Àrtic de l'empresa El Solstad offshore ASA:



**Figura 65.** Vaixell PSV Normand Àrtic. Font: Solstad offshore ASA

El vaixell Normand Àrtic està dissenyat per ser respectuós amb el medi ambient, en especial atenció al consum de combustible. Té un disseny únic de tancs GNL (gas natural liquat) perquè no es redueixi la capacitat de càrrega a bord. Aquest disseny fa que la capacitat de càrrega sigui inclús superior a la d'altres embarcacions de la mateixa mida. El vaixell també està dissenyat per dur a terme operacions de rescat d'acord amb les regulacions de la Direcció Marítima de Noruega, per a 280 persones, i la recuperació de petroli sota directrius NOFO de 2009.

Referent al sistema de propulsió del vaixell, pot funcionar tant amb gas natural liquat o amb bio-combustible dièsel marí i consisteix en tres motors Wärtsilä 34DF de combustible dual, cadascun proporcionant 2.610 kW a 720 r / min i està connectat a tres generadors Wärtsilä a 2500 kW a 720 r / min. A més Wärtsilä subministra dues hèlixs de CPP (Controllable Pitch Propellers) de pas variable, amb un diàmetre de 3300 mm, engranatges i cinc propulsors. Generadors Caterpillar proporcionen 640 kW a 1800 r / min. El gas natural liquat és subministrat per Cryo AB.

La coberta està equipada amb maquinària subministrada per Rolls-Royce Finlàndia que consisteix en dos torns de 10 t de tir, dues àncores / cabrestants d'amarratge de 17 t, i dos cabrestants d'amarratge de 17 t, sis cabrestants de fixació de càrrega de 2 t proporcionats per Comerç Marítim. Aukra Marítima proporcionant plataformes hidràuliques d'amarratge.

El Normand Àrtic està preparat per donar avituallament a 28 persones en 14 habitacions individuals i 7 cabines dobles.

#### Descripció del vaixell:

<b>Any de construcció</b>	2011 Langstein, Yard no 755
<b>Eslora (LOA)</b>	94,30 m
<b>Màniga</b>	20,00 m
<b>Calat</b>	6,80 m
<b>Tonatge brut</b>	6000 t
<b>Pes mort</b>	4900 t
<b>Càrrega de coberta</b>	2800 t
<b>Àrea de càrrega de coberta</b>	1000 m <sup>2</sup>
<b>Classificació</b>	1A1, SF, E0, DYNPOS-AUTR, DK (+), HL (2.8), GAS FULLED, CLEAN DESIGN, NAUT-OSV(A), COMF-V(3), TMON, VIBR, LFL*, OILREC, STANDBY VESSEL, ICE-C
<b>Bandera</b>	Norway
<b><u>PROPULSIÓ</u></b>	
<b>Motors principals</b>	4400 KW, 2 x Elmotors with output; 2200 kW, 690 V, 60 Hz, 1200 RPM
<b>Hèlixs de proa</b>	2 x Tunnel thrusters, 880 kW each, 1200 RPM
<b>Hèlixs de popa</b>	2 x Tunnel thrusters, 880 kW each, 1200 RPM
<b>Hèlix azimuthals</b>	1 x Retractable azimuth thruster,



	880 kW, 1800 RPM
<b><u>GENERADORS</u></b>	
<b>Generadors principals</b>	Caterpillar 640 kW a 1800 r / min
<b><u>CAPACITAT DELS TANCS</u></b>	
<b>Fuel oil</b>	1192,2 m <sup>3</sup>
<b>Base oil</b>	233,6 m <sup>3</sup>
<b>Aigua dolça</b>	1168,2 m <sup>3</sup>
<b>Llast aigua</b>	2671 m <sup>3</sup>

**Taula 16.** Característiques generals del vaixell PSV Normand Àrtic. Font: Solstad offshore ASA.

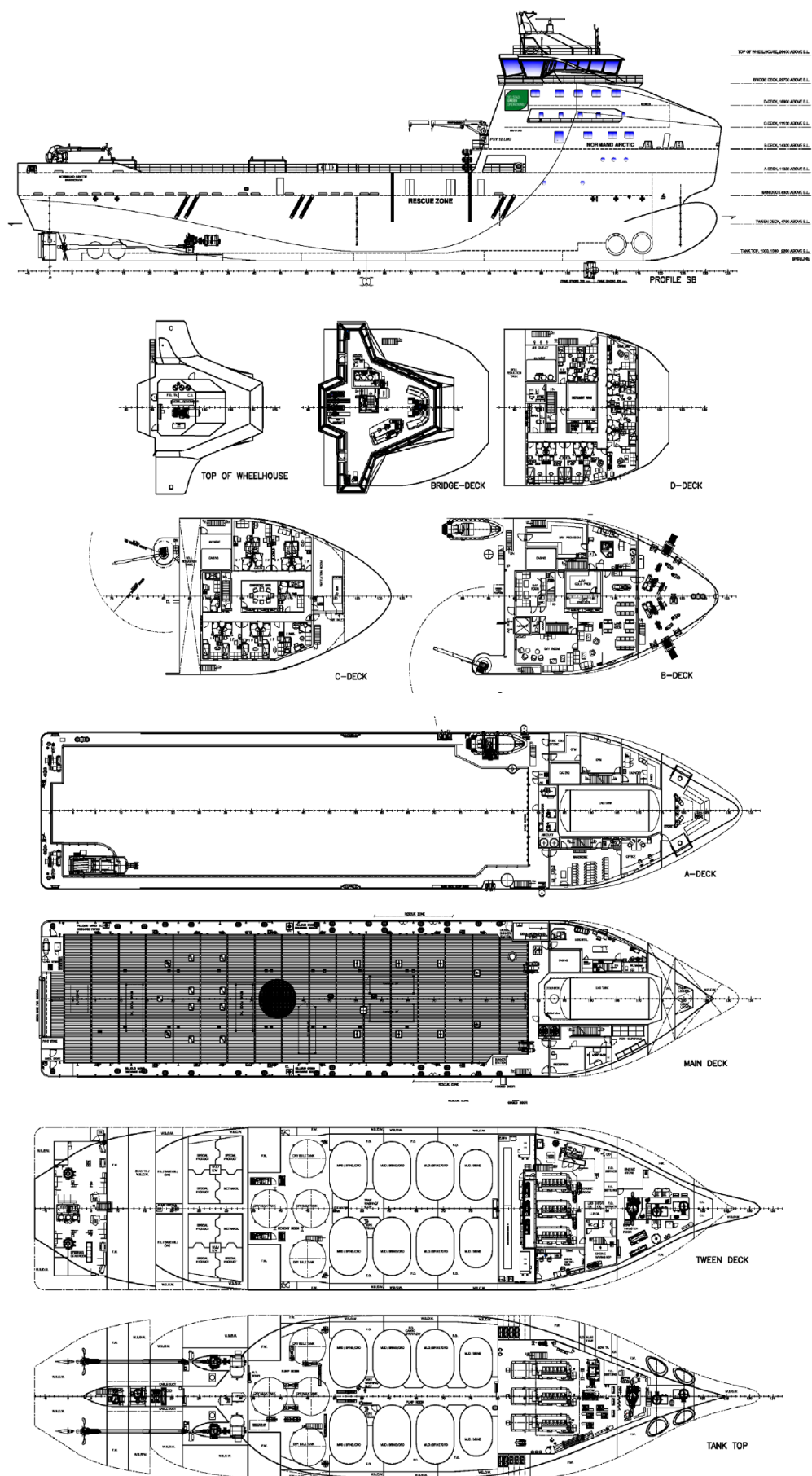


Figura 66. Plànols del vaixell PSV Normand Àrtic. Font: Solstad offshore ASA.

### 11.2.6. Vaixells jack-up

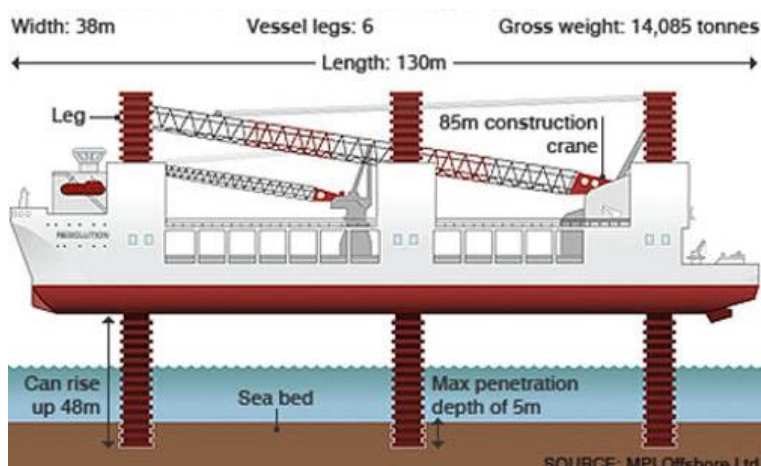
Els vaixells jack-up es caracteritzen perquè estan equipats amb un conjunt de potes mòbils, capaces d'elevat el vaixell per sobre de la superfície del mar i mantenir-se fermes en un punt concret a alta mar. Aquests vaixells tenen una superfície de càrrega a coberta que permet transportar amb facilitat mercaderies pesades i voluminoses.



**Figura 67.** Vaixell jack-up Innovation transportant cimentacions *tripod*. Font: hgo-infrasea-solution.

Un cop el vaixell es troba a la ubicació desitjada, les potes actuen i fan aixecar el vaixell per sobre del nivell del mar. Aquestes potes s'ancoren al fons marí, i gràcies al conjunt de potes degudament distribuïdes, fan que el vaixell estigui elevat per sobre del nivell del mar d'una manera fixa i estable, sense els efectes del moviment del mar i les onades.

Això permet realitzar desenvolupar d'una manera més còmode i fàcil les feines de treball per a la instal·lació dels generadors eòlics *offshore*, inclús en condicions marítimes adverses.



**Figura 68.** Vaixell jack-up. Esquema mides. Font BBC news.

Hi ha diferents dissenys de potes per als jack-up. Segons el tipus de vaixell i segons el tipus de fons marí on s'hauran de recolzar, aquestes seran d'un tipus i un disseny característic per tal que puguin realitzar amb bones condicions la seva tasca que és elevar el vaixell. Hi ha potes que penetren en el fons del mar i altres que tenen una base ample per tenir més superfície. Aquests vaixells tenen un mínim de 3 potes auto-elevables, i hi ha vaixells que en tenen fins a 6, però el més normal és veure vaixells jack-up amb 4 potes.

Referent als mecanismes per a dur a terme l'elevació, també n'hi ha de diferents dissenys; el sistema d'elevació tipus passador i forat, i el sistema amb cremallera que pot funcionar amb un mecanisme elèctric o hidràulic. El més utilitzat, és el sistema de cremallera amb engranatges, on els pinyons dels engranatges són accionats per motors hidràulics o elèctrics i el bastidor d'aquests es fixa a les potes. Amb aquest mecanisme es pot elevar el vaixell.

Aquests vaixells poden accionar el mecanisme d'elevació en aigües relativament poc profundes, generalment de menys de 120m de fondària.

#### Potes d'elevació



Les potes d'una jack-up són estructures d'acer que suporten el casc quan la unitat està en mode d'elevació i proporcionen estabilitat per resistir càrregues laterals. Són necessàries unes bases per augmentar l'àrea de suport del sòl reduint així la resistència necessària. Les potes i les bases han de tenir certes característiques que afecten a com reaccionarà la unitat en el moment d'elevar-se.

El vaixell en estat de navegació porta les potes amunt perquè no interfereixin en la navegació, i un cop arribat al punt d'instal·lació, enfonsa les potes i les ancora al fons marí.

**Figura 69.** Potes elevació. Font: flickr.com Autor: [Ken Doerr](#)

Depenent de la mida i longitud de les potes, generaran un impacte més o menys perjudicial sobre l'estabilitat del vaixell. El vaixell, en posició elevada, obté un centre de gravetat molt alt i es genera un gran àrea de resistència enfront del vent que afecta el conjunt de l'estructura i dificulten l'estabilitat.

A més a més, en aquesta posició, les potes d'un vaixell també estan sotmeses a càrregues de vent, onatge i corrents marins. La magnitud i la proporció d'aquestes càrregues van en funció de la profunditat de l'aigua, el buit d'aire (distància des de la línia de flotació a la línia de base del casc) i la distància en que les bases de les potes penetren al fons del mar. En general, com més gran siguin les potes, major serà la càrrega a suportar en quant a vents, onatge i corrents, ja que s'oferirà una resistència més gran sobre elles.

#### Càrrega prèvia i penetració al llit marí

Els jack-up estan pre-carregats quan arriben a la seva ubicació de treball per primera vegada, per tal d'assegurar que el llit marí és capaç de suportar la màxima reacció esperada (ja siguin produïdes a partir de situacions de tempestes extremes o ja siguin degudes a condicions de funcionament operatiu) sense experimentar una major penetració de les potes addicional o l'enfonsament del llit marí.

La quantitat de penetració de la pota està determinada per les propietats del sòl, la reacció vertical de les cames i l'àrea de la pota en si. En general, com més gran sigui l'àrea de la base de suport es produirà la mateixa reacció forces vertical contrària i des del terra, per tant, menor és la penetració.

El grau de penetració del sòl s'haurà estudiat prèviament amb l'estudi realitzat pels vaixells d'investigació oceanogràfica. La informació sobre el llit marí i les corbes de penetració previstes han de trobar-se a bord del jack-up abans de prendre la decisió de l'elevació en un emplaçament concret.

És recomanable registrar les dades i generar a cada lloc de treball unes corbes de penetració i comparar-les amb les corbes oficials i genèriques per estudiar desviacions,

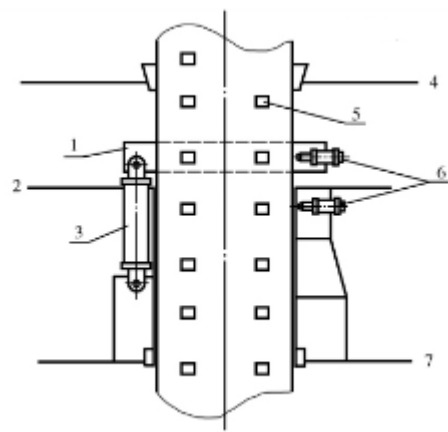
ja que aquesta informació és molt valuosa per determinar la validesa del llit marí a la zona, especialment per a futures intervencions en aquesta mateixa àrea.

### Sistemes d'elevació

Totes les unitats jack-up compten amb mecanismes per pujar i baixar el casc. El tipus de sistema d'elevació més elemental i bàsic és el sistema de passador i forat, que permet el posicionament del casc només utilitzant unes posicions determinades.



**Figura 70.** Potes d'un jack-up amb sistema passador i forat. Font: sal-heavylift.com.



**Figura 71.** Esquema funcionament sistema passador i forat. Font: ship-oilrig.com.

- **Passador-Forat:** Aquest sistema funciona utilitzant un parell de passadors per inserir en els forats que es troben a les potes. En el moment d'elevació o descens un mecanisme hidràulic, controla les potes juntament amb l'extracció o el posicionament del passador en els forats d'aquests i així s'aconsegueix reduir les vibracions. Hi ha un desavantatge, ja que en el moment de treure el passador les potes no estan ben fixades i tant les forces com els moviments que es generen poden crear algun problema. Un altre desavantatge respecte el sistema d'engranatges és que té limitades les posicions d'elevació, i la velocitat d'elevació i descens també serà inferior.

L'altre sistema d'elevació i gairebé el més utilitzat, és el sistema cremallera d'engranatges i pinyó.





**Figura 72.** Sistema d'elevació de cremallera. Font: ship-oilrig.com



**Figura 73.** Pinyó del sistema cremallera. Font: offshore-mag.com

- **Sistema cremallera:** Es comprèn dels motors pel gat i la caixa d'engranatges. La força d'elevació és generada pels pinyons de bastidor adjacent i la força motriu es genera a partir dels motors a través de la caixa d'engranatges.

Hi ha dues formes principals d'accionar el sistema d'elevació: flotant i fix. El sistema flotant utilitza coixinets relativament suaus per tractar d'igualar les càrregues de corda, mentre que el sistema fix permet la càrrega mentre es manté la desigualtat.



**Figura 74.** Sistema cremallera. Font: GUSTO MSC

Hi ha dos tipus de fonts d'energia pels sistemes d'elevació mitjançant gats: sistemes elèctrics i hidràulics.

Ambdós sistemes tenen la capacitat d'equilibrar les càrregues dins de cada tram del pinyó. Un sistema de propulsió amb gat hidràulic aconsegueix aquest objectiu mantenint la mateixa pressió per cada unitat d'elevació en una pota.

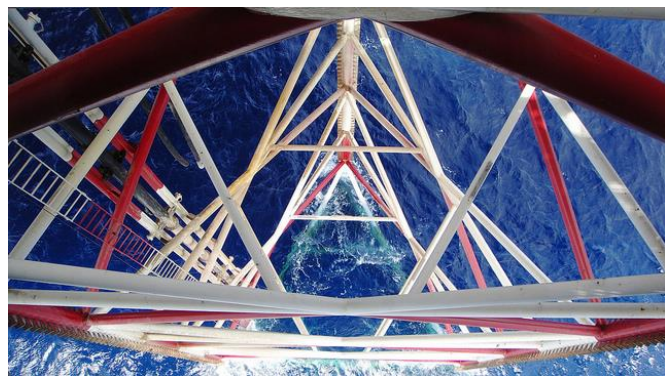
Cal anar amb compte, però, i assegurar-se que les pèrdues a causa de les longituds dels tubs, colzes, etc. són igualades amb tots els pinyons o les diferències són insignificants.



**Figura 75.** Sistema de cremallera. Font Ken Doerr.



**Figura 76.** Motors d'elevació. Font Ken Doerr.



**Figura 77.** Potes de vaixell jack-up. Font Ken Doerr.

Hi ha molts tipus de vaixells jack-up, amb mides i capacitats molt diverses, i diferents sistemes d'elevació. A continuació s'exposa un exemple, el Sea Installer de l'empresa A2SEA:

El vaixell jack-up Sea pot treballar en tres "modes" i és autopropulsat i equipat amb allotjament per a dues tripulacions completes per a dur a terme la instal·lació:

- Vaixell grua flotant amb restriccions de les càrregues de les grues.
- Vaixell amb les potes en posició *Semi Jacked* (semi elevades) amb condicions de càrrega reduïda per l'ús als ports i a llocs amb condicions del sòl marítim poc favorables.
- El vaixell totalment *Jacked* (totalment aixecat).

És un vaixell pensat per maximitzar l'ús de la coberta, aconseguint una gran superfície d'aquesta i reduint al mínim la manipulació de la càrrega a terra i a alta mar.



El vaixell té una coberta de 3.350 m<sup>2</sup> de capacitat i una grua principal amb una capacitat de càrrega de 800 tones. Pot transportar fins a tres aerogeneradors complets en cada viatge.



**Figura 78.** Vaixell Sea Installer. Font: A2SEA.

Té habilitats úniques de maniobra i equip avançat de posicionament electrònic que garanteix que el vaixell és capaç de posicionar-se exactament en relació amb les posicions de la turbina eòlica. Motors elèctrics dièsel amb una capacitat total de 18MW subministren l'energia suficient per mantenir la posició desitjada.

#### Descripció del vaixell:

<b>Any de construcció</b>	2013
<b>Eslora (LOA)</b>	132 m
<b>Màniga</b>	39 m
<b>Calat</b>	5,3 m
<b>Tonatge brut</b>	6000 t
<b>Longitud potes</b>	83 m
<b>Càrrega de coberta</b>	15 t/m <sup>2</sup> total de 5000t
<b>Àrea de càrrega de coberta</b>	3350 m <sup>2</sup>
<b>Classificació</b>	DNV- Self propelled jack-up vessel
<b>Bandera</b>	Danish
<b><u>PROPULSIÓ</u></b>	
<b>Motors principals</b>	6 x 3020 kW
<b>Motors auxiliars</b>	6.6 kV, 400V, 230V, 110V, 50 Hz

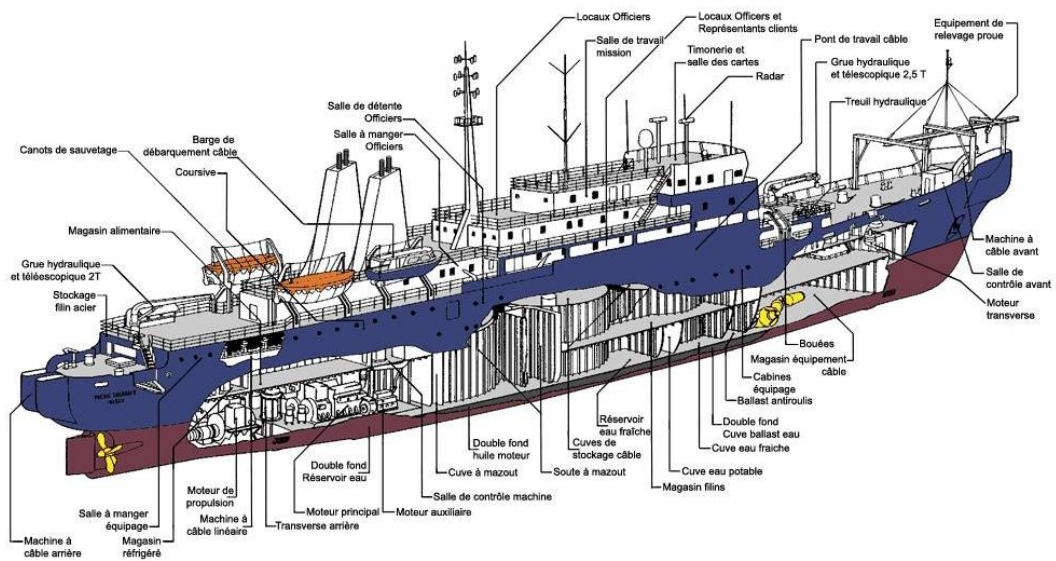
<b><u>SISTEMA D'ELEVACIÓ</u></b>	
<b>Nº de potes</b>	4
<b>Sistema elevació</b>	Double Hydraulic System
<b>Velocitat elevació</b>	0.50 m/min
<b>Alçada màxima de la onada</b>	2.0 m
<b><u>CAPACITAT DELS TANCS</u></b>	
<b>Fuel</b>	1000 m <sup>3</sup>
<b>Aigua dolça</b>	450 m <sup>3</sup>
<b>Aigües residuals</b>	300 m <sup>3</sup>
<b><u>ALLOTJAMENT</u></b>	
<b>Tripulants</b>	35

**Taula 17.** Característiques vaixell Sea Installer. Font: A2SEA.



### 11.2.7. Vaixells cablers

L'energia generada pels aerogeneradors és transmesa a la subestació *offshore* i des d'aquesta s'ha d'enviar a una planta elèctrica que està situada a terra. Per enviar aquesta energia cal un cable que connecti la planta *offshore* amb la de terra. Aquest cable ha de ser instal·lat amb un vaixell cabler específic per aquesta tasca i també realitzarà les tasques de reparacions futures.



**Figura 80.** Representació d'un vaixell cabler. Font: telcominterlex.com

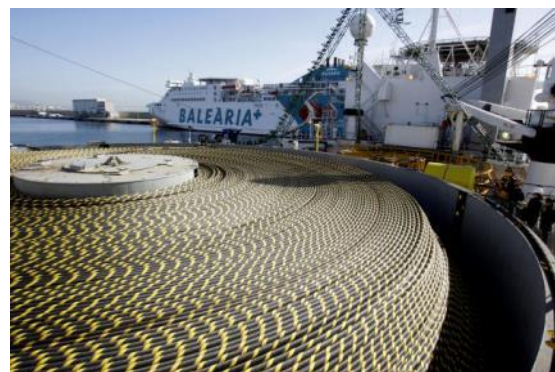
Son vaixells de gran sofisticació i d'alta tecnologia. Han de ser fàcilment maniobrables a molt baixes velocitats, mantenir una posició fixa en qualsevol zona i amb condicions adverses del mar i atmosfèriques. Han de seguir la ruta establerta sense errors i estan equipats amb equips específics necessaris per realitzar la batimetria, ja que aquesta és necessària abans d'instal·lar el cable.

La instal·lació del cable submarí és un procés complex, altament precís i delicat, pel que fa falta una maquinària específica i uns equips especials per controlar els paràmetres en tot moment i aquesta instal·lació es fa amb l'ajuda d'un robot ROV (explicat en el punt 10.8). El cable submarí ha d'adaptar-se perfectament al perfil del fons marí i ha de ser estès amb una velocitat i tensió adequada, variable al llarg de la

ruta, estenent una quantitat addicional (folgança) amb la finalitat que el cable s'adapti al fons.

El vaixell cabler disposa d'una màquina d'estesa. La velocitat d'estesa pot arribar fins a 1,5 km/h. Aquests vaixells cablers són reconeguts externament per la forma de la seva proa i la seva popa. Aquestes equips unes grans politges o rampes per l'estesa i recuperació dels cables. Les seves principals parts són:

- Tancs de cable: per emmagatzemar els diferents tipus de cable, els vaixells van equipats en el seu interior amb uns grans tancs circulars. Aquests tancs ocupen la major part de l'interior del vaixell.



**Figures 81, 82 i 83.** Vaixell Giulio Verne.

Font: voltimum.es



- Maquinària especial per estendre o recuperar els cables: aquestes màquines van proveïdes d'un gran nombre de parells de rodes o cadenes tipus caterpillar, entre les quals passa el cable i uns tambors circulars amb els que es controlen la tensió, velocitat i longitud de cable que és hissat o estès.



**Figura 84.** Popa del buc cabler Giulio Verne. Font: [almadeherrero.blogspot.com.es](http://almadeherrero.blogspot.com.es)

- Sala d'empalmaments: la realització de les connexions del cable submarí és un procés que requereix unes tècniques especials i una gran especialització en totes les seves fases. Aquesta sala està equipada amb tots els equips necessaris per la realització d'aquests empalmaments.
- Sistemes de posicionament i control del vaixell: el pont de comandament està completament computeritzat i munta equips duplicats de posicionament dinàmic via satèl·lit. Així mateix, la sala de màquines està completament automatitzada, de manera que pot anar en règim desatesa.

Com a últim pas per la disposició del cable al llit marí, s'utilitzarà una màquina de control remot ROV pel posicionament correcte del cable i aplanament del fons marí. També s'utilitza per comprovar l'estat dels cables i per tasques de manteniment.

Hi ha molts tipus de vaixells cablers, amb mides i capacitats molt diverses, a continuació s'exposa un exemple, el Giulio Verne de l'empresa Prysmian:



**Figura 85.** Vaixell Giulio Verne. Font: MarineTraffic.com

Des de 1989, any del seu llançament, el vaixell Giulio Verne ha jugat un paper de lideratge en la instal·lació i manteniment de cables submarins.

Està equipat amb les últimes tecnologies. El Giulio Verne té 128m d'eslora, 30 m de màniga i 8,5m de calat amb càrrega màxima. Té una capacitat per a 650 tones de combustible i gràcies a les quatre hèlixs azimuthal de 1.275 HP Schottel, el vaixell pot navegar a una velocitat de creuer màxima de 10 nusos.

Està equipat amb el sistema de posicionament dinàmic SIMRAD sDP 21, que li permet realitzar les maniobres d'instal·lació i manteniment dels cables amb tota precisió. També li permet fer un seguiment estricte del ROV.

El vaixell té un heliport muntat a la proa a la part superior del pont, que li permet obtenir un subministrament constant de personal i materials necessaris per realitzar les operacions.

La seva capacitat de càrrega total és d'aproximadament 8.000 tones. La plataforma d'emmagatzematge del cable té una capacitat màxima de 7.000 tones de cable. A la coberta principal, davant de la plataforma giratòria, hi ha disponible una superfície d'aproximadament 500 m<sup>2</sup>, en què es pot col·locar una bobina de cable amb un màxim de 19 m de diàmetre: la capacitat màxima aplicable és d'aproximadament 2.500 tones de cable.

Descripció del vaixell:

<b>Any de construcció</b>	1984 Hyundai Mipo Dockyard Company Limited Ulsan, Korea
<b>Eslora (LOA)</b>	133,18 m
<b>Màniga</b>	30,48 m
<b>Calat</b>	8,5 m
<b>Tonatge brut</b>	10,617 t
<b>Bandera</b>	Italian
<b><u>PROPULSIÓ</u></b>	
<b>Motors principals</b>	Daihatsu 6 DV 22A V12 2,200 BHP at 1,000 RPM
<b>Motors auxiliars</b>	Caterpillar 3508 DITA (Marine) 1500 RPM
<b><u>GENERADORS</u></b>	
<b>Generadors principals</b>	Fuji 1500 KW 600 Volt GFV 563ZB-6Z
<b>Generadors Auxiliars</b>	Hyundai Electrical Engineering HFC 3-454-4 500 KVA
<b><u>VELOCITAT I CONSUM DE COMBUSTIBLE</u></b>	
<b>Velocitat de creuer</b>	9 nusos en bones condicions del mar i vent
<b>Màxima velocitat</b>	10 nusos
<b>Consum en velocitat de creuer</b>	15-20 tones/dia
<b>Consum en operacions DP</b>	7-11 tones/dia
<b>Consum al port</b>	2 tones dia
<b><u>CAPACITAT DELS TANCS</u></b>	
<b>Gas oil</b>	650 tones
<b>Aigua dolça</b>	650 tones
<b><u>ALLOTJAMENT</u></b>	
<b>Tripulants</b>	90

**Taula 18.**  
Característiques  
Vaixell Giulio Verne.  
Font: Prysmian.



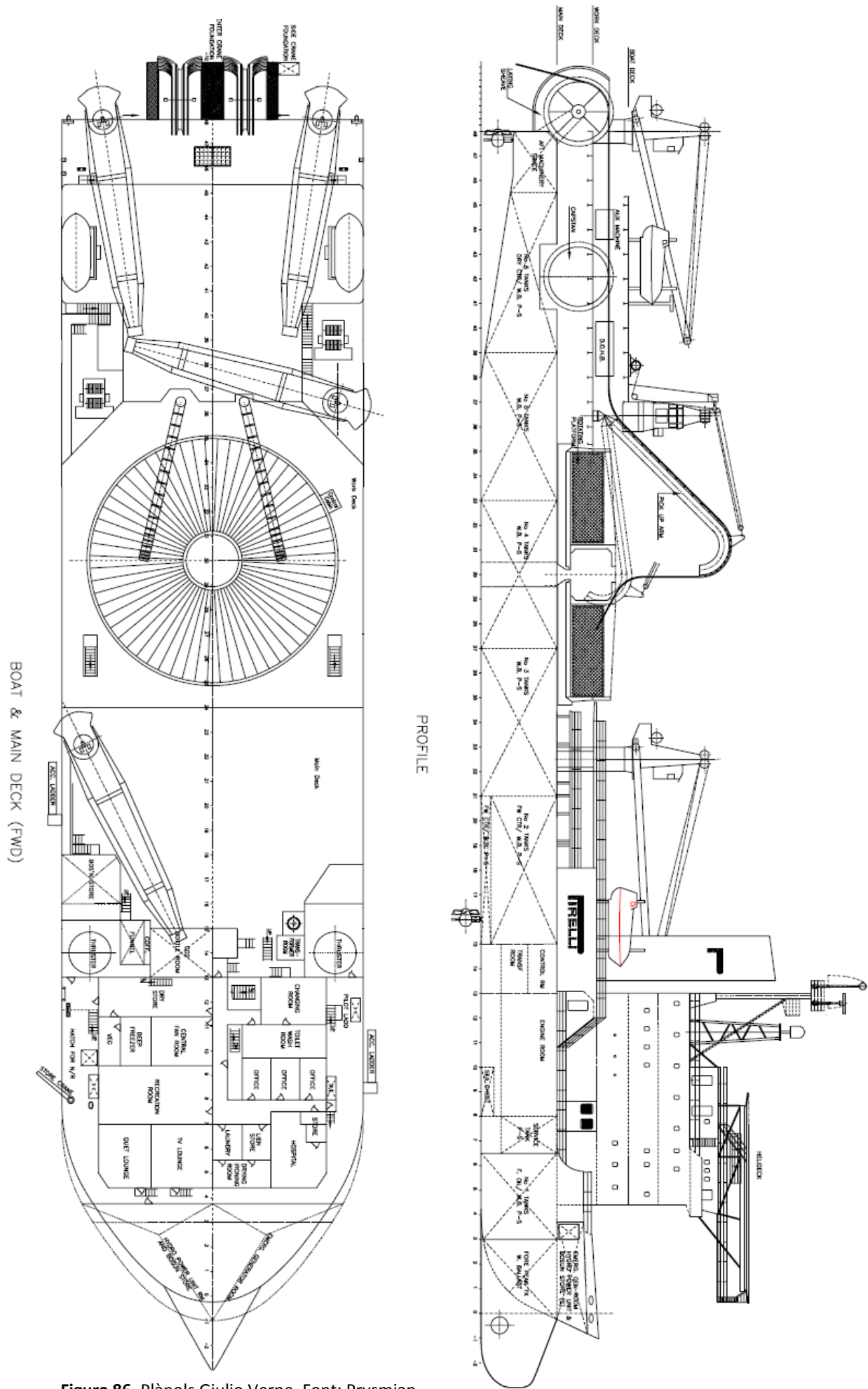
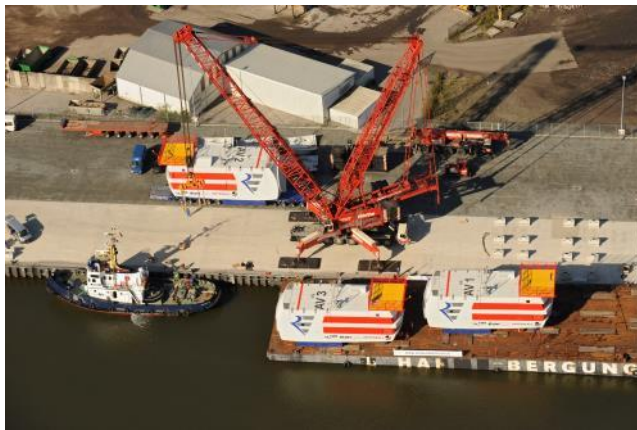


Figura 86. Plànols Giulio Verne. Font: Prysmian

### 11.2.8. Remolcadors

Un remolcador és una embarcació utilitzada per ajudar a la maniobra d'altres embarcacions, principalment estirant o empenyent aquests vaixells o similars als ports, però també en mar obert o a través de rius o canals. També s'usen per remolcar plataformes, vaixells incapacitats o altres equips.

Als ports, el seu objectiu és guiar acuradament a l'embarcació al seu destí d'atracada on es durà a terme la càrrega i descàrrega. En alguns casos pot portar a la representació de l'autoritat de port, transferir-lo al vaixell per acompanyar el capità a la maniobra mentre el remolcador acompanya la trajectòria i maniobra d'entrada al port. Garanteix així la prevenció d'accidents i col·lisions amb estructures, terra ferma i altres embarcacions.



**Figura 87.** Remolcador i plataforma flotant amb carregament de góndoles. Font: Alpha Ventus



**Figura 88.** Remolcador i plataforma flotant amb carregament de cimentacions *jacket*. Font: Alpha Ventus

En general la seva funció per la construcció de parcs eòlics és la de remolcar les plataformes flotants carregades amb les parts dels aerogeneradors fins al punt d'instal·lació, o de remolcar les parts dels aerogeneradors que es poden transportar de manera flotant, com les cimentacions *monopile*. Una altra funció dels remolcadors és la lluita contra incendis.

Hi ha molts tipus de vaixells remolcadors, amb mides i potències diverses, a continuació s'exposa un exemple, el Salvador Dalí de l'empresa S.A.R Remolcadors S.L:

El remolcador Salvador Dalí pertany a la empresa (S.A.R Remolcadors S.L) que opera al port de Barcelona. Va ser construït l'any 2005 a les drassanes de Zamakona S.L (Bilbao).

Té 74,73 tones de Tir, que fa que pugui remolcar i empènyer grans vaixells i pot assolir una velocitat de 12 nusos.



**Figura 89.** Remolcador Salvador Dalí. Font: pròpia.

El Salvador Dalí és un remolcador azimuthal asimètric que disposa de dos motors principals en paral·lel a la línia de crugia; un a estribord de proa i el segon a babord de popa. Amb aquesta disposició té un gran control de la velocitat de gir i avanç. Aquest sistema azimuthal permet un gir de 360° del propulsor i fent així que sigui un remolcador molt efectiu a l'hora de realitzar operacions al port.

Els motors principals transmeten la seva força propulsiva al TwinDisc i des d'aquest es transmet el moviment al propulsor per poder maniobrar el buc de la forma desitjada.

Els motors principals (babord i estribord) són motors marins Caterpillar 3516B 2x1865Kw, són motors dièsel controlats electrònicament. Tenen injectors unitaris electrònics i estan equipats amb un circuit de post-refredament d'aigua en les camises o post-refredament de circuit separat.

Tenen una configuració de 16 cilindres en V de configuració a 60o. Són motors de 4 temps amb aspiració a turbo-compressió.

Descripció del vaixell:

<b>Nom del Vaixell</b>	Salvador Dalí
<b>Tipus de Vaixell</b>	Remolcador Azimutal Asimètric
<b>Any de Construcció</b>	2005
<b>Drassana</b>	Zamakona Pasaia, S.L.
<b>Arqueig Brut</b>	324 GTs
<b>Arqueig Net</b>	97 NTs
<b>Eslora Total (LOA)</b>	27,55 m
<b>Eslora de Flotació (LWL)</b>	26,840 m
<b>Eslora entre Perpendiculars (LBP)</b>	26,450 m
<b>Màniga Màxima (B)</b>	15,250 m
<b>Màniga amb Cintons</b>	15,290 m
<b>Màniga amb Defenses</b>	16,115 m
<b>Calat de Subdivisió</b>	1,500 m
<b>Calat Màxim</b>	5,210m
<b>Calat Mitjà (T)</b>	3,300 m
<b>Puntal de Traçat (D)</b>	3,304 m
<b>Francbord d'estiu (FBs)</b>	1,482 m
<b>Calat d'estiu (Ts)</b>	1,829
<b>Desplaçament al calat d'estiu (<math>\Delta_s</math>)</b>	539,5 tones
<b>Rosca (<math>\Delta</math>)</b>	442,6 tones
<b>Potència Propulsora</b>	2 x 2.536,4 B.H.P. / 2 x 1865 Kw
<b>Velocitat de Servei</b>	12,00 nusos
<b>Punt de Tir</b>	74,73 tones
<b>Tripulació</b>	3/6 persones
<b>Bandera</b>	Espanyola
<b>Classificació del Vaixell</b>	Lloyd's Register of Shipping

<b>Cota de Classificació</b>	+100 A1 TUG, FI-FI, +LMC, UMS, CCS, EP
<b>Armador</b>	BANSALEASE, S.A. (EFC)
<b>Tipus de viatge</b>	Remolcador d'altura Classe T
<b><u>PROPULSIÓ:</u></b>	
<b>M.E</b>	Caterpillar
<b>Model</b>	3516B-HD DITA
<b>Potència</b>	2 x 2536,4 bhp / 2 x 1865 Kw
<b>R.P.M.</b>	1.600
<b>Hèlixs</b>	Rolls Royce
<b>Model</b>	2 x US-205
<b><u>MAQUINÀRIA AUXILIAR:</u></b>	
<b>Generadors</b>	Guascor
<b>Model</b>	H66T-SG
<b>Potència</b>	166
<b>Alternador</b>	Leroy Somer
<b>Potència</b>	122 Kw / 50 Hz
<b>R.P.M.</b>	1.500
<b><u>CAPACITAT DE TANCS:</u></b>	
<b>Diesel oil</b>	9,80 m3
<b>Reserva Diesel</b>	58,26 m3
<b>Aigua dolça</b>	4,62 m3
<b>Oli lubricant</b>	2,79 m3
<b>Oli hidràulic</b>	1,83 m3
<b>Escumogen</b>	5,81 m3
<b>Dispersant</b>	5,81 m3
<b>Oli recuperat</b>	2,23 m3

**Taula 19.** Característiques Generals del remolcador Salvador Dalí. Font: reyser

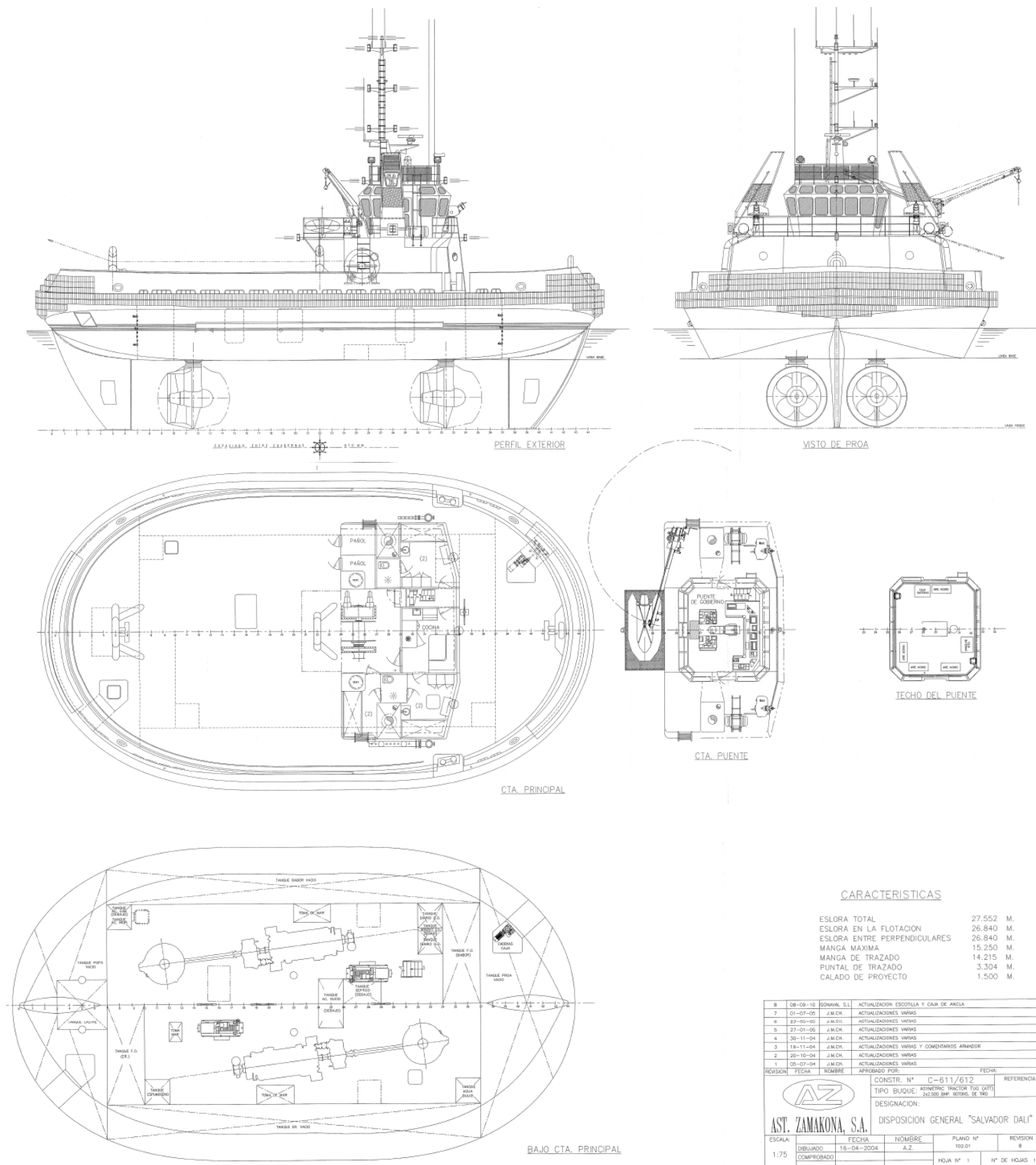


Figura 90. Plànols del remolcador Salvador Dalí. Font: reyser

### 11.2.9. Vaixells de transferència de personal

Aquests vaixells s'utilitzen pel transport de personal, recanvis i béns d'anada i tornada des del port als punts d'alta mar durant la fase d'instal·lació i operació dels parcs eòlics *offshore*. Perquè un projecte de turbines eòliques *offshore* sigui rendible és molt important que els aerogeneradors sempre estiguin en funcionament, ja que les parades o períodes que estan inoperatius són cars a causa de la pèrdua de producció. Per tant, l'accés ràpid i fàcil als llocs a alta mar és vital.

Hi ha molts tipus de vaixells de transferència de personal, amb mides i potències diverses, l'empresa A2SEA proporciona una gran gamma d'aquets tipus de vaixells, aquests vaixells els gestionen tant Dong Energy com Siemens. A continuació s'exposa un exemple, el Wind Transporter operat per Dong Energy:



**Figura 91.** Vaixell de transferència de personal Wind Transporter. Font: A2SEA

Per dur a terme el manteniment dels parcs eòlics són necessaris més d'un vaixell d'aquestes característiques. Aquets vaixells estan especialment dissenyats pel transport de personal tècnic i peces de recanvi pel parc eòlica *offshore* d'Anholt. Són vaixells monocasc amb capacitat de fins a 12 passatgers i tres tripulants.

Un total de tres vaixells permanents estan previstos per ajudar a resoldre les tasques de servei al parc eòlic *offshore* d'Anholt.





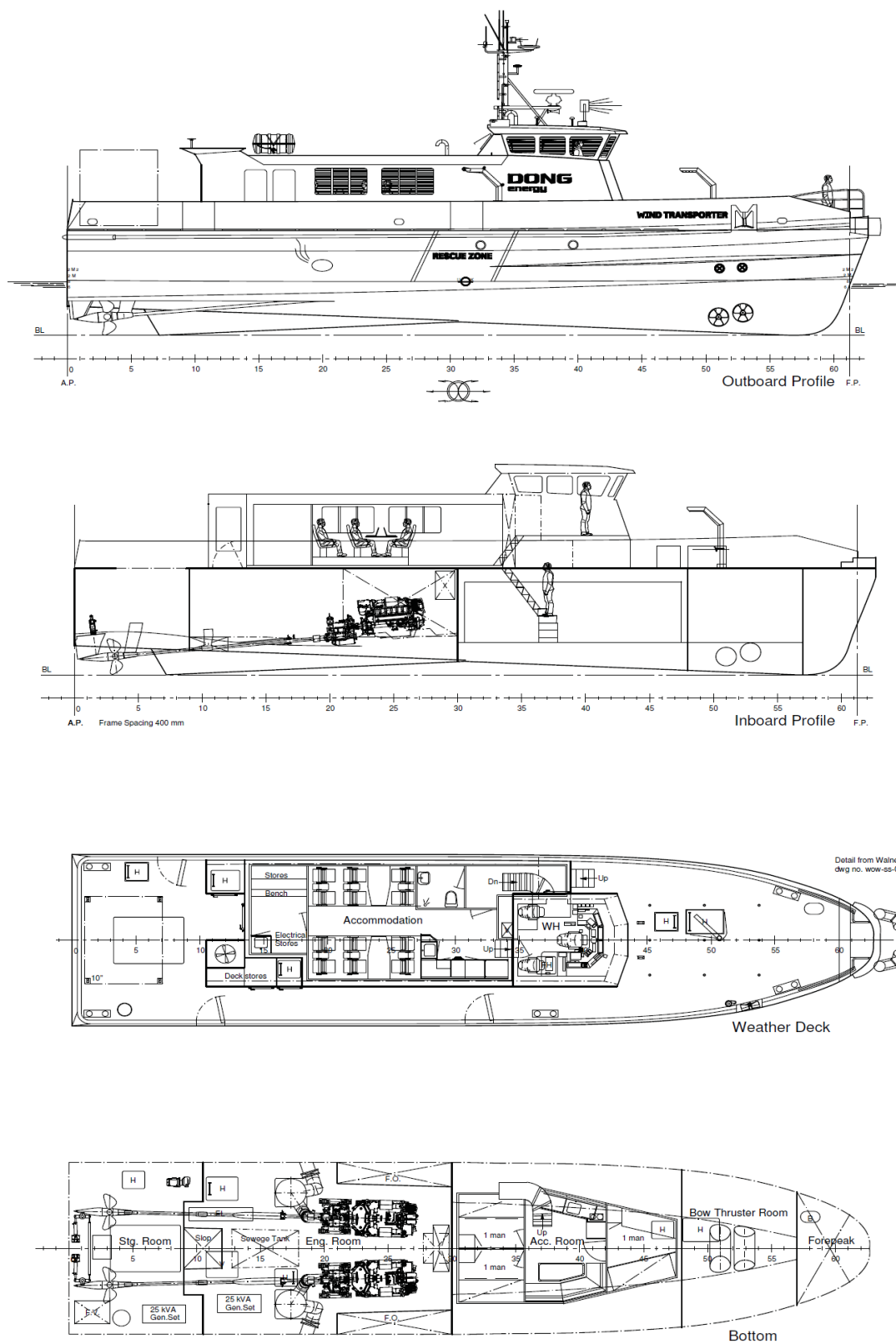
**Figura 92.** Vaixell Wind Transporter al parc eòlic d'Anholt. Font: Dong Energy.

Descripció del vaixell:

<b>Any de construcció</b>	2012
<b>Eslora (LOA)</b>	25,1 m
<b>Màniga</b>	1,77 m
<b>Calat</b>	8,5 m
<b>Desplaçament</b>	67 t
<b>Bandera</b>	UK
<b><u>PROPULSIÓ</u></b>	
<b>Motors principals</b>	2 x 1080 kW (2x MTU 12V8000 m72)
<b>Hèlix de proa</b>	2 x 60kW (MBH)
<b><u>VELOCITAT I CONSUM DE COMBUSTIBLE</u></b>	
<b>Velocitat de creuer</b>	24 nusos
<b>Màxima velocitat</b>	27,7 nusos
<b>Temps per operacions</b>	14h. categoria 2
<b><u>CAPACITAT DELS TANCS</u></b>	
<b>Fuel</b>	8000 l
<b>Aigua dolça</b>	200 l
<b><u>ALLOTJAMENT</u></b>	
<b>Tripulants</b>	3 tripulants, 12 passatgers

**Taula 20.** Característiques vaixell Wind Transporter. Font: Dong Energy.





**Figura 93.** Plànols vaixell Wind Transporter. Font: Dong Energy.

### 11.2.10. Vaixells hotel

Els vaixells hotel es fan servir pels parcs eòlics que estan molt allunyats de la costa i on no compensa fer molts viatges d'anada i tornada al parc eòlic en el moment de la instal·lació. En aquests tipus de parcs es fan servir vaixells hotel per allotjar el personal involucrat en la construcció del parc eòlic. Són vaixells amb grans capacitats de tripulants, de més de 400 persones, i estan equipats amb totes les comoditats necessàries.

Com a exemple d'aquets tipus de vaixells, a continuació s'exposa l'Edda Fides:

El Edda Fides, és un dels vaixells més avançats i sofisticats del seu tipus en tot el món. Té una forma única per permetre el posicionament de l'allotjament a proa i els propulsors Voith a la popa. El disseny s'ha realitzat així per aconseguir una reducció del 20% en combustible i les emissions en comparació amb els vaixells anteriors d'aquest tipus.



**Figura 94.** Vaixell Edda Fides. Font: eddaaccommodation

Construït a les drassanes HJ Barreres de Vigo i lliurat el 2011 a un cost estimat de 150 milions d'euros, amb 130m d'eslora, 7.500 tones de pes mort l'Edda Fides té allotjament per a 600 persones a bord i compta amb una tecnologia innovadora destinada a revolucionar el

sector de l'allotjament a alta mar. Això inclou un sistema de posicionament dinàmic DP de nivell 3 combinat amb les hèlixs Voith Schneider, i una passarel·la telescòpica de 1400m<sup>2</sup> amb moviment compensat.

En comparació amb un sistema de propulsió tradicional, el sistema Voith Schneider

ofereix una capacitat de posicionament molt precís i ràpid, conjuntament amb una reducció del consum de combustible.

Descripció del vaixell:

<b>Any de construcció</b>	Astillero HJ Barreras - Vigo Spain – 2011
<b>Eslora (LOA)</b>	130,0 m
<b>Màniga</b>	27,0 m
<b>Calat</b>	9,4 m
<b>Pes mort</b>	7500 t
<b>Classificació</b>	DNV +1A1, Passenger Ship, SPS, SF, E0, ICE C, FiFi II, DYNPOS AUTRO, CLEAN DESIGN, COMFV(2), COMF-C(3), NAUT AW, HELIDK-SH, PMS, ISM
<b>Bandera</b>	Malta
<b><u>PROPULSIÓ</u></b>	
<b>Proa</b>	3 x 2500 KW Voith thrusters
<b>Popa</b>	2 x 2500 KW Voith thrusters
<b>Forward</b>	2 x 1400 KW tunnel thrusters
<b>Velocitat</b>	11,5 nusos
<b><u>Auxiliars/ energia elèctrica</u></b>	
<b>Generadors de corrent</b>	6x AC de 2925 Kw
<b>Generador al port</b>	1x 500 Kw
<b>Producció total</b>	18050 Kw
<b><u>CAPACITAT DELS TANCS</u></b>	
<b>Marine Gas Oil</b>	2470 m <sup>3</sup>
<b>Aigua dolça</b>	2457 m <sup>3</sup>
<b>Aigua de Llast</b>	5975 m <sup>3</sup>
<b><u>ALLOTJAMENT</u></b>	
<b>Tripulants</b>	600

**Taula 21.** Característiques vaixell Edda Fides. Font: eddaaccommodation

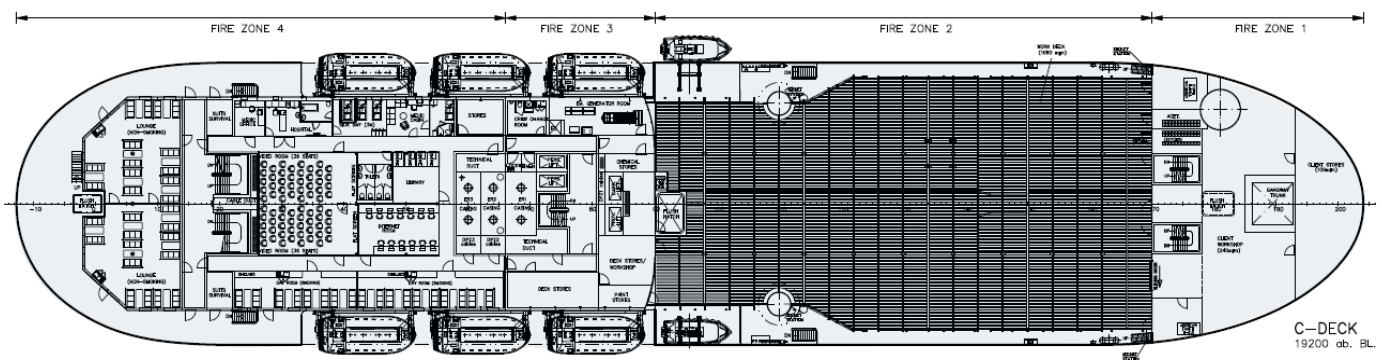
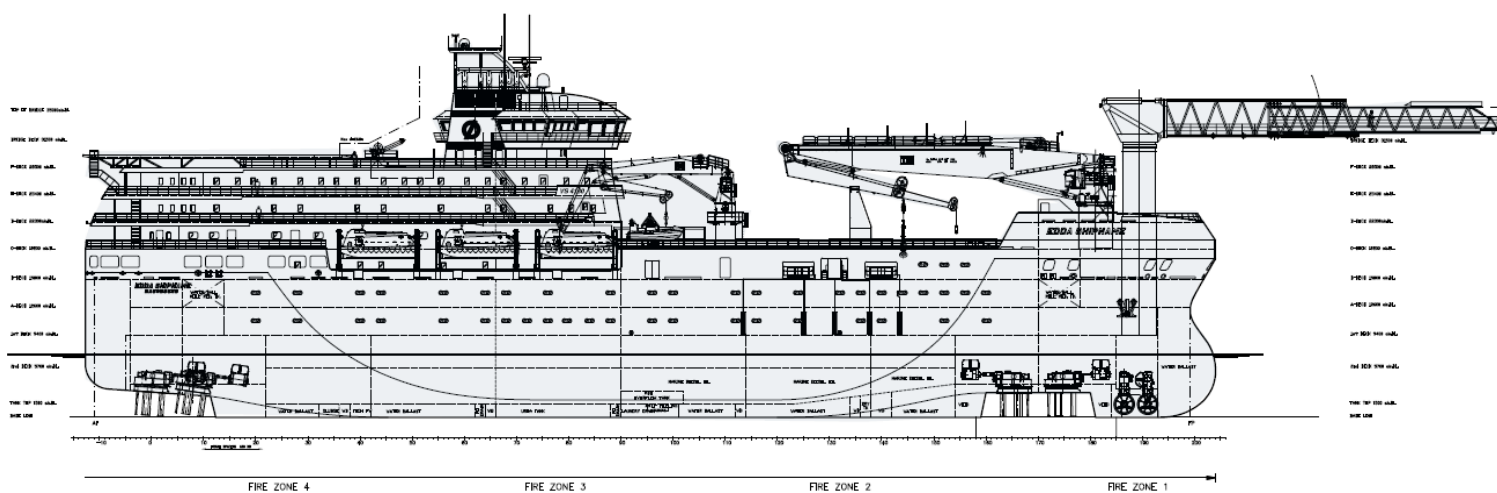
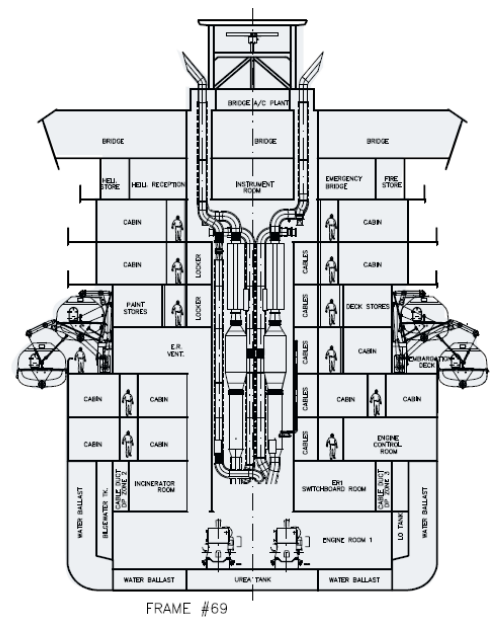
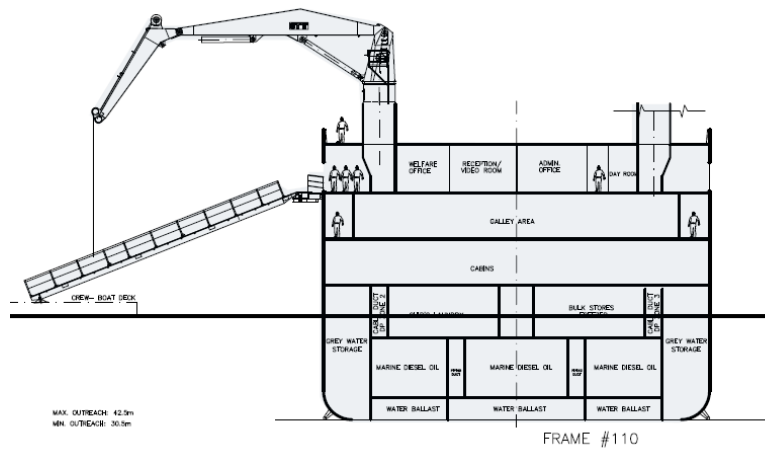


Figura 95. Plànols vaixell Edda Fides. Font: eddaaccommodation

### 11.2.11. Plataformes flotants

Les plataformes flotants s'utilitzen pel transport de càrregues pesades i voluminoses. La majoria de les plataformes no tenen un sistema de propulsió pròpia, així que han de ser remolcades amb l'ajuda de remolcadors.

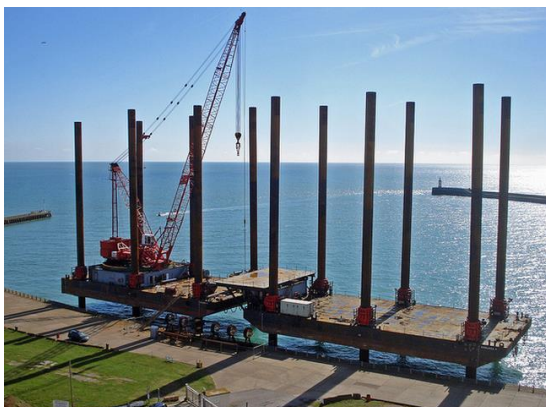
Hi ha diferents tipus de plataformes, algunes només serveixen pel transport i altres tenen una grua per fer operacions d'instal·lació o moviments de càrregues. Algunes tenen un sistema bàsic de propulsió que els hi dóna un mínim de maniobrabilitat. Hi ha plataformes jack-up, que poden elevar-se per sobre del mar com els vaixells jack-up. Aquestes poden realitzar les tasques d'instal·lació dels aerogeneradors, però aquestes plataformes han de ser remolcades o transportades fins al punt d'instal·lació.



**Figura 96.** Transport de 3 plataformes jack up SEA JACK en un vaixell de carga. Font: jackupbarge.com



**Figura 97.** Plataforma jack up SEA JACK instal·lant un aerogenerador. Font: A2SEA

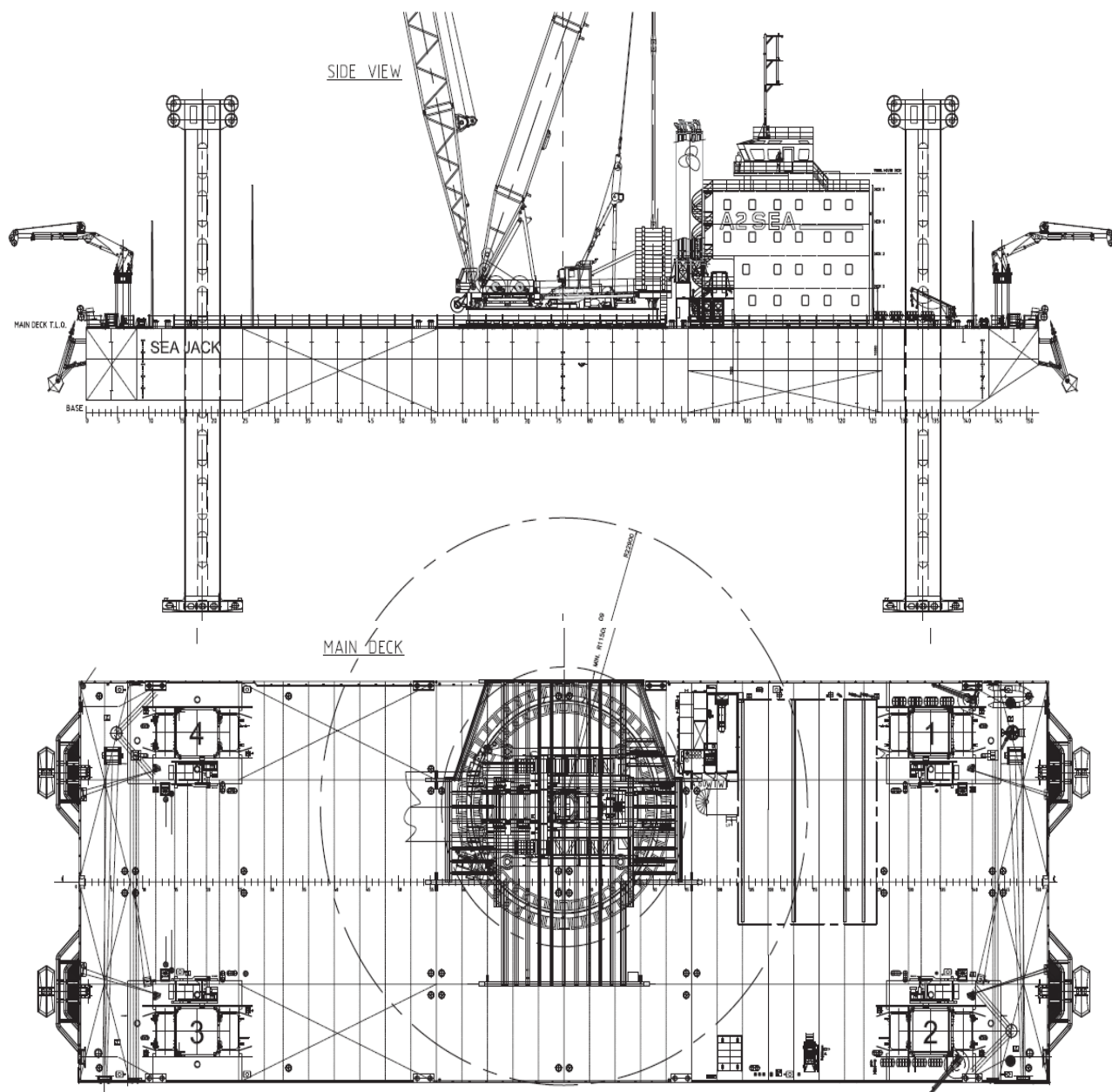


**Figura 98.** Plataformes jack up barges karlissa A. Font: titansalvage.com



**Figura 99.** Transport de les cimentacions tripod amb una plataforma flotant remolcada per un remolcador. Font : Alpha Ventus





## SEA JACK

### Technical specifications

#### General

Vessel	SEA JACK
Type of vessel	Self-elevating platform
Classification	Germanischer Lloyd
Flag	Danish

#### Technical Dimensions

Length	91.20 m
Breadth	33.00 m
Draft	5.5 m
Leg length	50.4 m
Deck load	20 t/m <sup>2</sup>
Free deck space	2500 m <sup>2</sup> (subject to deck layout)
Total net deck load	1500 - 2500 t (depending on stability)
Operating water depth	6 - 30 m (depending on tide, penetration)

#### Tank Capacity

Fuel	200 m <sup>3</sup>
Fresh water	84 m <sup>3</sup>
Sewage tanks	60 m <sup>3</sup>

#### Power Sources

Main generators	2 x 350 kVA, 1 x 125 kVA
Main power supply	3 x 380 V, 50 Hz, 3 x 220 V, 50 Hz

#### Charterers' Accommodation

Charterers' personnel	23 persons
Charterers' cabins	23 cabins
Office facility	1 office with 2 work desks and 1 meeting table for 6 persons
Other facilities	Rest lounge (shared with vessel crew) Mess room (shared with vessel crew) Gym facilities (shared with vessel crew)

#### Jack-leg system

No. of legs	4
Jacking system	Wire
Jacking engines	8 x DEUTZ BF 8 M 1015MC, each 400 kW
Jacking speed	0.8 m/min - 1.0 m/min
Spudcan footprint	64 m <sup>2</sup>
Wave limit jacking	Approx. 1.5 m Hs (subject to site specific assessment)

#### Main Crane

Type	Manitowoc M1200 Ringer
Main boom length	42 - 115 m
Crane capacity	800 t (subject to boom configuration)

#### Mooring & anchor system

Winches	4 x 30 t line pull, hydraulic driven
Wire lengths	900 m
Anchor	4 x 10 t

**Figura 100.** Especificacions tècniques i plànols de la plataforma Sea Jack. Font: A2SEA.

### 11.2.12. Robots ROV (Remotely Operated Vehicle)

Els vehicles d'operació remota ROV, són robots submarins no tripulats i connectats a un vaixell a la superfície per mitjà d'un cable llarg. L'energia i les ordres s'envien mitjançant un comandament a distància a través del cable al ROV. S'utilitzen en diferents tasques, tant amb els vaixells oceanogràfics per dur l'estudi del fons marí, amb els vaixells d'instal·lació de les cimentacions per controlar les tasques d'instal·lació, amb els vaixells cablers per instal·lar i reparar els cables, i també es fan servir per realitzar les tasques de manteniment del parc eòlic.

A través del cable es transmeten també les dades de les càmeres fotogràfiques del ROV, les dades dels sensors i dels sonars al centre de control del vaixell de la superfície.



**Figura 101.** Manipulació del cable amb el ROV.

Font: Ken Doerr

Els ROV poden portar una gran varietat de braços manipuladors per realitzar treballs a les profunditats o simplement una càmera fotogràfica amb la finalitat de captar les imatges del fons del mar.

El cable dels ROV presenta avantatges i inconvenients. Els avantatges és que és possible transmetre fàcilment al ROV l'energia i les dades, i els inconvenients

és que el propi pes del cable requereix una gran quantitat d'energia per poder-lo moure.

#### Classificació dels ROVs:

- ROV de busseig lliure i connexió amb cable.
- ROV remolcats de fons i de mitja profunditat.
- ROV d'arrossegament pel fons.

La major part dels ROVs estan equipats amb càmeres de vídeo.

Els ROV de busseig lliure poden operar amb 6 graus de llibertat.

Encara que alguns ROV tenen bateries a bord, se solen alimentar des de la superfície mitjançant el cable.

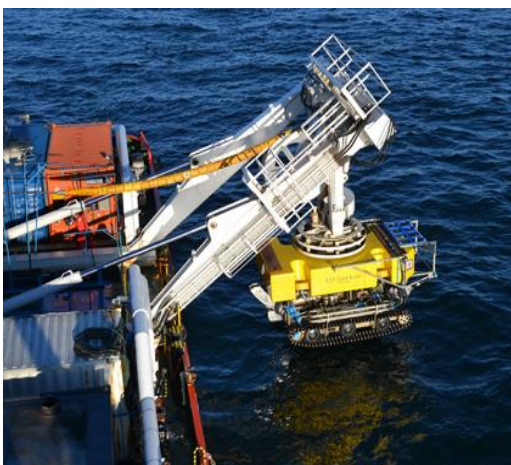
Aquests vehicles amb prou feines suren en la superfície. Per baixar utilitzen una hèlix en sentit vertical.

El control dels ROV es realitza mitjançant un cable de connexió a causa de les dificultats que existeixen per la transmissió de les ones de ràdio dins l'aigua del mar.

Les operacions del ROV són generalment més simples i són més segures que utilitzar la intervenció humana per mitjà de bussejadors, ja que els ROV tenen l'avantatge de ser capaços de ser utilitzats en períodes més llargs que els seus homòlegs humans. També es pot utilitzar en situacions en què seria perillós o inadequat enviar un bussejador al fons marí, a causa de les obstruccions o condicions meteorològiques adverses.

Un requisit indispensable que han de tenir els vaixells per utilitzar els ROV, és disposar d'un sistema de posicionament dinàmic DP per dur a terme les operacions, ja que sense aquest sistema el seguiment del ROV amb el vaixell seria impossible, i la pèrdua del ROV seria un inconvenient.

Exemples de ROV:



**Figura 102.** ROV al parc eòlic Anholt.

Font: Dongenergy



**Figura 103.** ROV T1200 al parc eòlic Sheringham Shoal.

Font: helixcurrents.com



### 11.2.13. Vaixells especials

Es preveu que el futur dels parcs eòlics *offshore* vagi en augment i cada cop siguin més grans i amb aerogeneradors més potents. És un mercat a l'alça i per aquest motiu hi ha molts prototips i dissenys especials de vaixells per millorar i fer més rendibles els procediments d'instal·lació i manteniment dels parcs eòlics *offshore*.

A continuació es mostren alguns prototips:



**Figura 104.** Prototip de Huisman.

Font: Huisman

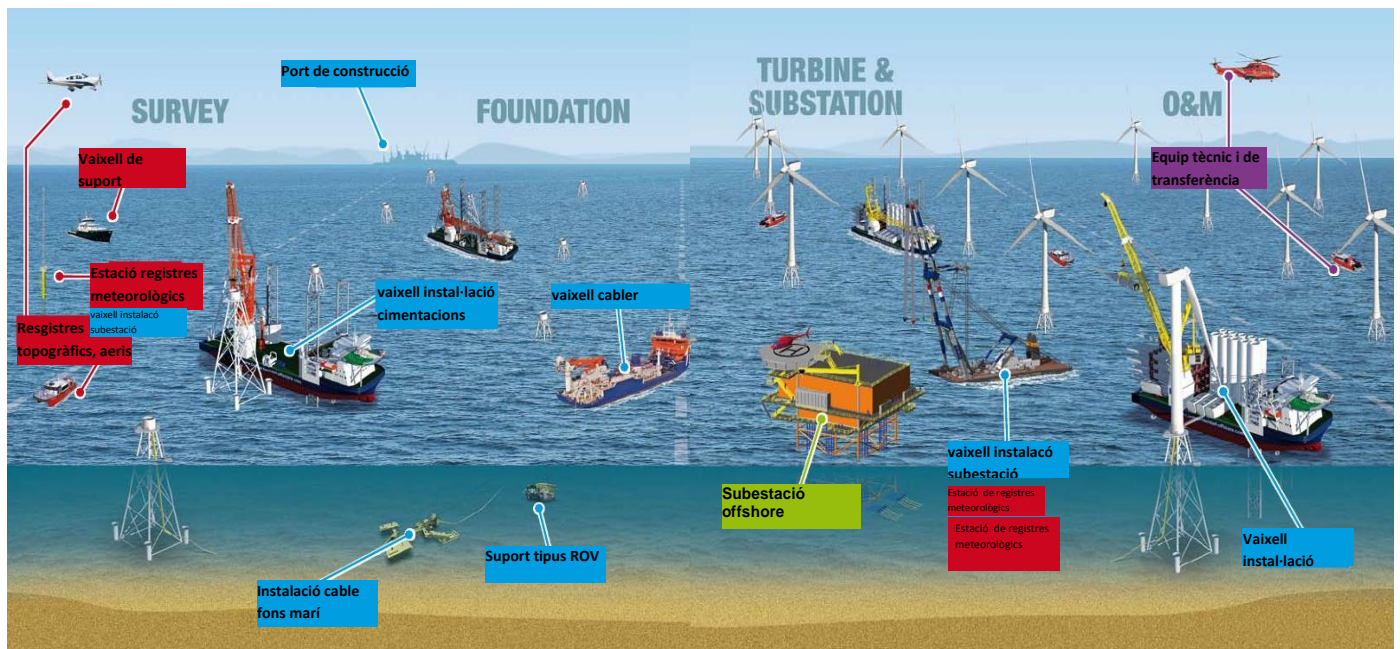


**Figura 105.** Prototip de vuik engineering.

Font: vuykrotterdam.com



**Figura 106.** Prototip WINDLIFTER. Font: windlifter.nl



**Figura 107.** Parc eòlic *offshore* vaixells d'instal·lació i serveis. Font: BVG associates

### 11.3. Costos estimats del lloguer dels vaixells. Desembre del 2009. Font:WE@SEA 5.1

Equipment Range	description	Day rate Day rate	Payload Tons	Speed Knots	Operational conditions Hs Weather window
Barges	Barge, payload 1000 ton	€ 3.616	1000		1,5 60%
	Barge, payload 2000 ton	€ 7.233	2000		1,5 60%
	Barge, payload 3000 ton	€ 10.849	3000		1,5 60%
Tugs	Tug / Anchor handling small	€ 17.035		5	3,0 90%
	Tug large (speed incl. load)	€ 27.312		5	3,0 90%
Jackups	Jackup, not propelled, no pay load	€ 42.192	0		1,5 60%
	Jackup, not propelled, pay load 1000 ton	€ 48.219	1000		1,5 60%
	Jackup, not propelled, pay load 2000 ton	€ 54.247	2000		1,5 60%
	Jackup, not propelled, pay load 3000 ton	€ 60.274	3000		1,5 60%
	Gusto, self propelled, 1340 ton payload	€ 115.034	1340	8	1,5 60%
	Gusto, self propelled, 2750 ton payload	€ 123.080	2750	8	1,5 60%
	Gusto, self propelled, 4000 ton payload	€ 138.616	4000	8	2,0 75%
	Gusto, self propelled, 7000 ton payload	€ 155.811	7000	8	2,0 75%
Vessel plus legs	Vessel incl. legs, payload 3000 ton	€ 150.728	3000	10	2,0 75%
	Vessel incl. legs, payload 6000 ton	€ 187.560	6000	10	2,5 85%
Piling Hammer	Piling hammer small	€ 11.009			
	Piling hammer large	€ 14.011			
Heavy Lift Vessel	Sheerleg, 2000 ton	€ 53.719	2000		1,0 40%
	Sheerleg, 4000 ton	€ 71.274	4000		1,0 40%
	Sheerleg, 8000 ton	€ 88.829	8000		1,5 60%
Pile plugs	Pile plugs	€ 899			
Vertical drill	Vertical drill	€ 78.661			1,0 40%

## 12. POSICIONAMENT DINÀMIC (DP)

El sistema de posicionament dinàmic (DPs) és un sistema controlat per ordinador per mantenir automàticament la posició del vaixell i el rumb mitjançant l'ús de les seves pròpies hèlixs i propulsors. Els sensors de posició de referència, juntament amb sensors de vent, sensors de moviment i compassos giroscòpics, proporcionen informació a l'ordinador corresponent a la posició del vaixell, la magnitud i la direcció de les forces ambientals que afecten la seva posició.

El programa d'ordinador conté un model matemàtic del vaixell que conté informació relativa a la resistència al vent, als corrents marins i a la ubicació dels propulsors. Aquest coneixements, juntament amb la informació dels sensors, permeten que l'ordinador pugui calcular l'angle de la direcció requerida i la propulsió de sortida per a cada hèlix. Això permet que les operacions al mar on l'atraca o l'ancoratge no és factible a causa de les aigües profundes, es puguin dur a terme amb molta més seguretat i precisió.

El sistema de posicionament dinàmic està dissenyat per mantenir el vaixell en posició especificada i per minimitzar el consum de combustible i el desgast dels equips de propulsió.

### 12.1. Components

Tot DP està configurat pels següents sistemes i equips:

- Sistemes de referència: dels quals s'obté informació utilitzada per poder mantenir la posició i la proa, o bé realitzar moviments controlats. Els sistemes de referència es divideixen en dos grans grups, els utilitzats pel control de la posició i els utilitzats per al control de la proa.

Entre els primers tenim per exemple:

- Sistemes satèl·lits, per exemple el DGPS.
- Sistemes electromecànics, com el Tautwire.
- Sistemes amb base en ones radar, el Artemis.
- Sistemes hidró acústics, entre els que podem enumerar les balises USBL, SBL o LBL.
- Sistemes làser, així el Fanbeam o el Cyscan.

Pel control de la proa, bàsicament disposem de la giroscòpica i el compàs magnètic, connectats aquests al sistema mitjançant el protocol NMEA, que estandarditza les comunicacions entre els diferents equips del vaixell.

- Sensors de mesura: els agents externs que intenten desplaçar els vaixells, com el vent, corrent i onatge, han de ser mesurats per conèixer els paràmetres de direcció i intensitat de manera que la força exercida per aquests sigui coneguda i poder així contrarestar-los. Les dades procedents d'aquests sensors han estar monitoritzats de manera contínua, perquè l'operador conegui en tot moment les condicions meteorològiques de vent i mar.
- Equips propulsors i de govern: un vaixell amb PDs requereix d'un sistema de propulsió i govern generós que permeti controlar de manera precisa la totalitat de moviments del vaixell en el pla horitzontal.
- Sistemes de generació: així com també distribució i gestió de l'energia. Aquests tres sistemes, compostos per diversos equips, són els responsables de subministrar l'energia als diferents propulsors per contrarestar les forces externes.
- El model matemàtic del vaixell: els càlculs que es fan a l'ordinador central transmet els resultats de les forces i accions a aplicar en cada un dels propulsors i timons, per contrarestar les forces externes existents en cada moment.

## **12.2. Funcionament**

Un cop el sistema està actiu, el flux d'informació és el següent: les dades procedents dels sistemes de referència i sensors que mesuren les forces de l'entorn conflueixen a l'ordinador central on corre l'aplicació informàtica. Aquesta informació és processada obtenint respostes en forma d'ordres que s'envien als propulsors encarregats de vèncer les forces exteriors i mantenir així la posició del vaixell o dirigir-lo a un determinat lloc.

Els generadors, distribuïdors i gestors d'energia també reben ordres, en nom de que funcionin segons el previst o estiguin preparats per rebre noves instruccions derivades dels possibles canvis en les operacions. D'aquesta manera el PDs permet treballar en

llocs on no seria factible dur a terme una operació degut a la presència de cables i canonades o altres impediments.

Finalment cal recordar que la posició, la direcció i els moviments realitzats per mitjà d'un sistema de Posicionament Dinàmic poden ser tant absoluts com relatius, és a dir, referenciats a un punt fix o a un punt mòbil respectivament.

### 12.3. Forces i moviments

Un vaixell de navegació marítima està sotmès a les forces del vent, les onades i corrents, així com de les forces generades pel sistema de propulsió.

La resposta del vaixell a aquestes forces, és a dir, els seus canvis de posició, rumb i velocitat, es mesura pels sistemes de referència de posició, girocompàs i els sensors de referència vertical.

Un vaixell es pot considerar que té sis graus de llibertat en el seu moviment, és a dir, es pot moure en qualsevol dels sis eixos.

Tres d'elles impliquen translació :

- Surge (endavant / enrere)
- Sway (estribord / babord)
- Heave (dalt / baix)

i els altres tres de rotació :

- Roll (rotació al voltant de l'eix de proa-popa)
- Pitch (rotació al voltant de l'eix babord-estribord)
- Yaw (gir al voltant de l'eix estirada)

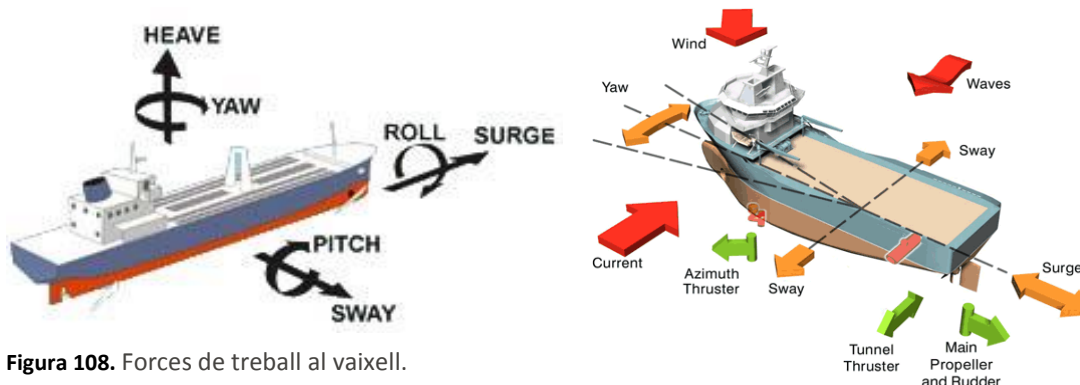


Figura 108. Forces de treball al vaixell.

Font: Kongsberg

El posicionament dinàmic s'ocupa principalment del control de la nau al pla horitzontal, és a dir, l'augment de tres eixos, balanceig i guinyada.

#### 12.4. Sistemes de control

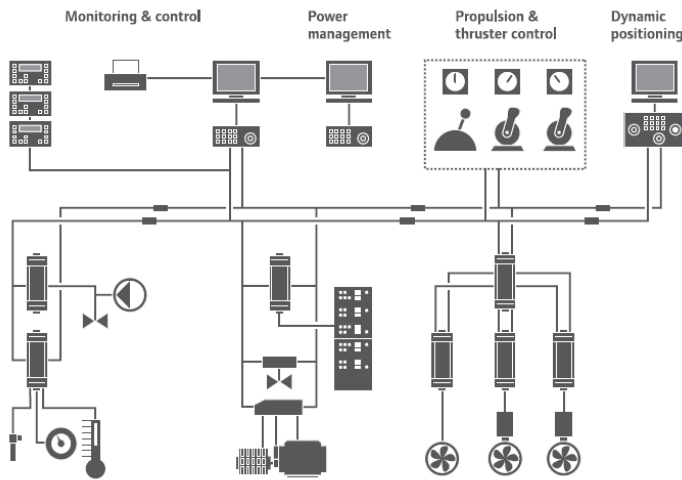
Depenent de l'aplicació, els sistemes de posicionament dinàmic pot incloure els sistemes de control següents:

- **Joystick:** permet a l'operador controlar manualment el vaixell utilitzant una palanca de comandament per la posició de partida i de control.
- **Joystick d'alta velocitat:** el joystick d'alta velocitat permet a l'operador maniobrar l'embarcació de forma manual a velocitat normal de creuer i de maniobra.
- **Auto rumb:** manté automàticament el rumb requerit.
- **Auto posició:** la posició automàtica manté automàticament la posició requerida.
- **Palanca de comandament mixt / auto:** el combinat joystick/automàtic permet a l'operador seleccionar control automàtic d'un o dos dels eixos de sobretensions, balanceig i guinyada.
- **Seguir objectiu:** el seguiment d'objectiu permet a l'embarcació seguir automàticament un blanc en moviment.
- **Ajut d'Anchor:** proporciona assistència a l'hèlix quan s'opera dins del port.
- **Pilot automàtic:** el pilot automàtic permet al vaixell dirigir automàticament un curs pre-definit.
- **ROT pilot:** permet a l'operador maniobrar el vaixell que utilitzi taxa de control de gir.
- **Seguiment automàtic:** *auto track* (baixa velocitat, moviment cap amunt i d'alta velocitat) fan que el vaixell segueixi una ruta concreta descrita per un conjunt de punts de referència. Aquest sistema només es pot utilitzar per operacions marines i no han de ser utilitzats per a fins de navegació.



- **Seguiment de línia:** permet a l'embarcació seguir un curs constant sobre el fons. Només és per operacions marines i no han de ser utilitzats per a fins de navegació.

#### The integrated solution



**Figura 110.** Monitor control DP. Font: Kongsberg Kongsberg

**Figura 109.** Esquema sistema propulsió amb el DP.

Font: Kongsberg



**Figura 111.** Monitors control DP. Font: Kongsberg

### 12.5. Simulació sistema posicionament dinàmic DP a la facultat de nàutica NT3.

La facultat de nàutica de Barcelona, a l'edifici NT3, disposa d'un simulador de posicionament dinàmic DP.

El 14 de març de 2013 a l'NT3 es van fer un seguit de simulacions amb sistema DP, per tal de comprovar el funcionament i les possibilitats d'aquest sistema per la instal·lació i el manteniment d'un parc eòlic marí.

Es van simular diferents situacions, totes elles necessàries per un parc eòlic marí. La de conservar la posició en un punt concret, la del seguiment del ROV i anar a un punt concret automàticament.



**Figura 112.** Simulador de la Facultat de Nàutica de Barcelona, NT3. Font: pròpia. Centre de simulació FNB

### Conservació en un punt concret:

Hi ha operacions que requereixen que el vaixell es mantingui en una posició concreta, ja sigui per la instal·lació de les turbines, les cimentacions o per realitzar operacions de manteniment. El sistema DP controla tots els sistemes de propulsió i maniobra dels vaixells, contrarestant els efectes del vent, onatge i qualsevol efecte que fagi moure el vaixell.

És molt important que el sistema DP funcioni perfectament, ja que per les operacions en que s'utilitza poden generar danys personals i materials si hi ha errors.



**Figura 113.** Sistema DP, mantenint la posició desitjada en popa. Font: Pròpia. Centre de simulació FNB



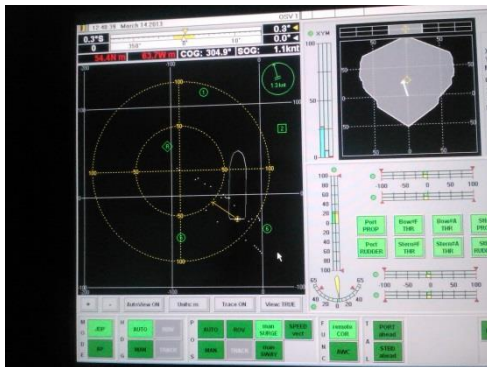
**Figura 114.** Sistema DP, mantenint la posició desitjada, amb el centre del vaixell. Font: Pròpia. Centre de simulació FNB

### Treballs amb el ROV:

Hi ha tasques que requereixen un treball amb vehicles d'operació remota ROV. Generalment és fan servir per les tasques d'estudis oceanogràfics, per la instal·lació i manteniment dels cables submarins, per les tasques d'instal·lació de les cimentacions i pel control i manteniment d'aquestes.



Els ROV necessiten un vaixell de suport, i aquest no pot estar a molta distància, ja que es podrien perdre les comunicacions i no realitzar en condicions les operacions necessàries. Per aquest motiu és important tenir controlat en tot moment la distància entre el ROV i el vaixell. És per això que el sistema DP és necessari, ja que es pot programar per tal que el vaixell sempre mantingui una distància concreta amb el ROV i fer un seguiment explícit.



**Figures 115 i 116.** Seguiment del ROV, mantenint la popa  
Font: pròpia. Centre de simulació FNB



### Seguiment de ruta automàtic:

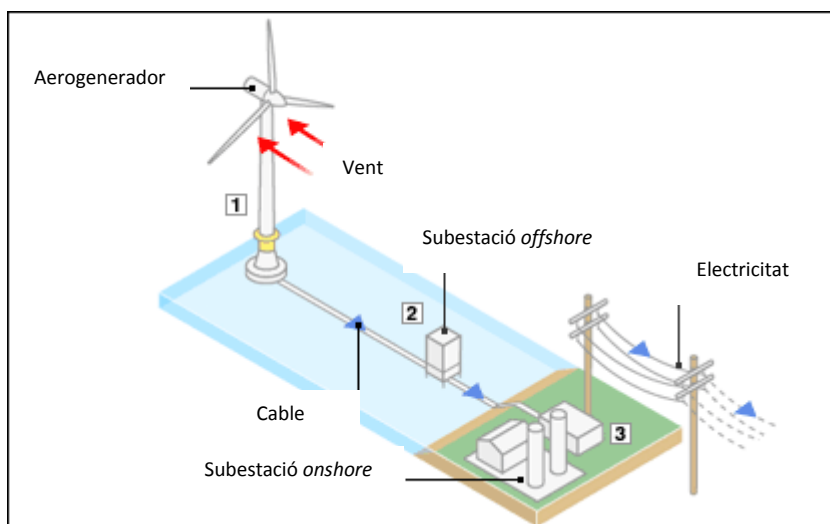
També es pot marcar una ruta a realitzar, o només marcar el punt on es vol arribar. El sistema DP s'encarrega d'arribar al lloc prèviament registrat de manera automàtica.



**Figures 117.** Ruta automàtica fins a un punt concret, i mantenir la posició un cop en ella. Font: pròpia  
Centre de simulació FNB

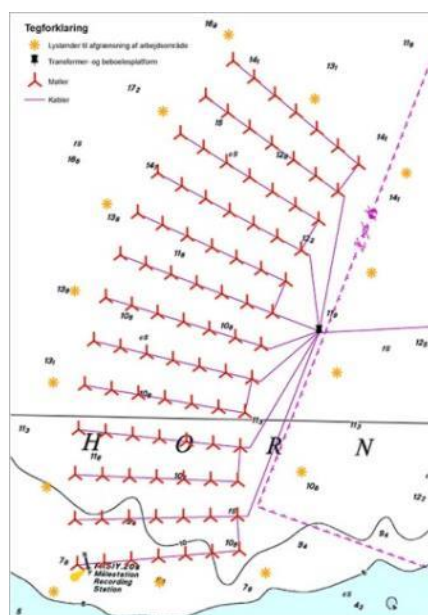
### 13. SUBESTACIONS

Generalment cada aerogenerador té inclòs un transformador que converteix a mitja tensió l'energia elèctrica produïda a partir de l'energia mecànica del vent. Aquesta és conduïda fins a la subestació transformadora *offshore* mitjançant el cablejat intern del parc eòlic, que surt dels aerogeneradors. Aquest cablejat intern es distribueix pels circuits, cada un dels quals transporta l'energia produïda per un determinat nombre d'aerogeneradors fins a la subestació transformadora *offshore*. Després de la subestació *offshore*, un cable connecta aquesta amb una altre subestació *onshore*, aquesta està situada a terra.



**Figura 118.** Esquema connexió parc eòlic offshore.

Font: <http://news.bbc.co.uk>



**Figura 119.** Mapa de la connexió d'un parc eòlic offshore Font:eco.microsiervos.com

Per la construcció de la subestació *offshore* cal tenir molt present la conservació del medi ambient en el punt d'instal·lació i estudiar quin tipus d'edificació i cimentació és el que menys afecta.

Un altre factor a tenir en compte és la inclinació del terreny pel càlcul del centre de gravetat i l'accés a la planta.

La subestació *offshore* consistirà en un edifici principal dividit en compartiments o habitacions destinades a diferents finalitats, com la sala de control i comandament, el nucli central de la subestació on es troba l'aparellatge, les habitacions destinades a les necessitats de personal. Totes elles han d'estar protegides contra incendis.

La subestació es munta en terra ferma i, posteriorment, es porta a la seva ubicació al mar, col·locant-la sobre la cimentació. Abans de transportar-la, s'ha de comprovar que tots els seus elements estan correctament muntats per poder fer les reparacions o modificacions necessàries a terra.

Els tipus de cimentacions de la subestació són similars a les dels aerogeneradors. Els més utilitzats són el *monopile* i el tipus *tripod* o *jacket*.

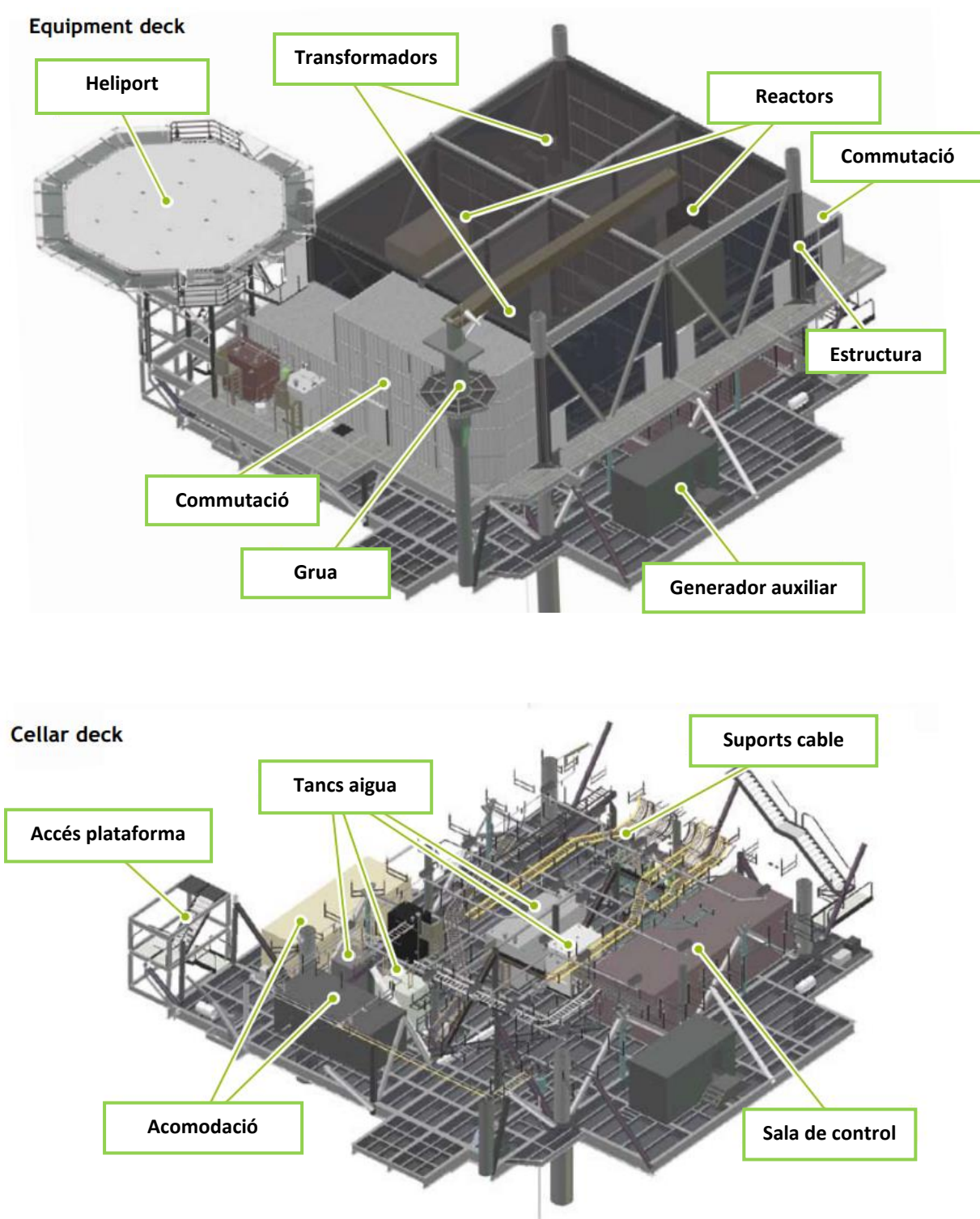


**Figura 120.** Subestació amb *monopile*.

Font DongEnergy

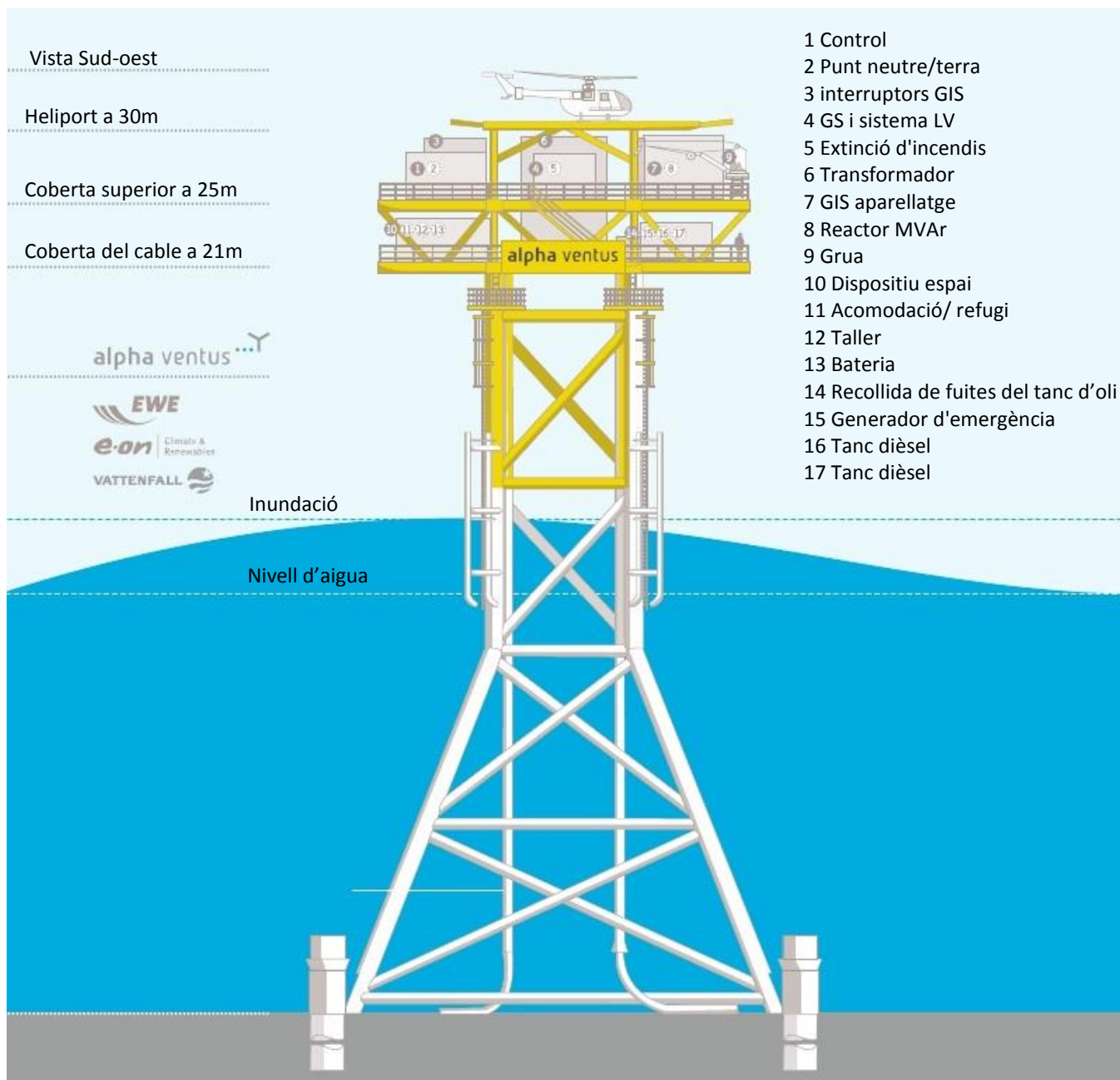


**Figura 121.** Subestació amb *jacket*. Font: Alpha Ventus



**Figura 122.** Esquema subestació *offshore*. Font: thecrownstate





**Figura 123.** Descripció subestació Alpha Ventus. Font: Alpha Ventus

**Figura 124.** Plànols subestació Apha Ventus. Font: Alpha Ventus

## 14. MANTENIMENT

El manteniment és un factor clau en l'operació dels parcs eòlics marins. Com que no sempre és possible estar exactament en el lloc quan es produeix un error, és vital que un parc eòlic marí estigui sempre en bones condicions. Això es pot aconseguir a través d'inspeccions regulars i un bon manteniment.

Algunes de les inspeccions que es duen a terme:

- Inspecció anual per sobre del nivell d'aigua:
  - inspecció física.
  - inspecció de la pintura.
  - inspecció mecànica.
  - inspecció del cable.
- Semestral:
  - inspeccions de corrosió.

Els costos d'operació i manteniment del parc eòlic són una partida molt important.

La política de manteniment es basa en tres formes d'acció.

- **Equips monitoritzats:** mitjançant aparells de mesura tindrem les magnituds més importants dels equips més crítics en temps real mitjançant la fibra òptica que porten els cables elèctrics.
  - Aerogenerador: sensors de temperatura al generador elèctric, multiplicadora, i fluids lubricants i refrigerants. Paràmetres de revolucions i producció energètica.
  - Sistema de llast: nivell dels tancs de llast i operativitat de les bombes de llast, alarmes d'inundació, operativitat de les vàlvules amb accionament remot.
- **Manteniment predictiu:** consisteix en canviar determinats equips d'alta importància en la producció passades certes hores de funcionament, estigui o no en condicions de seguir funcionant. És més rendible amb aquests equips

assegurar el correcte funcionament que còrrer el risc d'un error que pari la producció.

- Canvi de coixinets i frens de l'aerogenerador.
  - Renovació de les ampolles de CO2 contra incendis.
  - Manteniment de les bombes de llast i les vàlvules dels tancs de llast.
  - Filtres d'aigua salada.
- **Manteniment correctiu:** l'estratègia ruptura-reparació s'aplicarà bàsicament a tots els altres equips. Les inspeccions periòdiques seran les que ens alerten de les reparacions necessàries quan els paràmetres monitoritzats no arriben a donar-nos aquesta informació.
    - Estructura general de la plataforma: estat de l'acer, soldadures, corrosió...
    - Connexió del fondeig: estat dels punts de connexió.
    - Estat de les pales, rotor, carcassa de l'aerogenerador i altres components que componen el subministrament de l'aerogenerador.

Contràriament al que se sol creure, la corrosió no és una cosa que preocupi especialment en les construccions d'acer al mar. L'experiència de les plataformes petrolíferes marines ha demostrat que poden ser correctament protegides utilitzant una protecció catòdica (elèctrica) contra la corrosió.

La protecció superficial (pintura) dels aerogeneradors marins es proporcionarà directament amb una classe de protecció major que per les turbines instal·lades a terra.

Les plataformes petrolíferes marines es construeixen normalment per durar 50 anys. Aquesta és també la vida de disseny de les cementacions d'acer utilitzada en els parcs eòlics marins.



## -PART 3-

### 15. AVANTPROJECTE DE LA CONSTRUCCIÓ D'UN PARC EÒLIC MARÍ A LES COSTES DE TARRAGONA

En aquest apartat es representarà la l'avantprojecte d'una instal·lació flotant, el procediment d'instal·lació de la turbina i dels vaixells involucrats. Com que en les costes catalanes les profunditats del fons marí acostumen a ser grans, menys en algun determinat emplaçament, s'ha triat la opció d'utilitzar turbines amb bases tipus flotant per tal de superar les limitacions per culpa de la profunditat del sòl.

A continuació es mostra els procediments necessaris per a la instal·lació:

Per la instal·lació dels aerogeneradors flotants es necessitarà una flota i uns requeriments específics; tres remolcadors d'altura, una plataforma flotant amb una grua de mínima carga, una altra plataforma flotant amb capacitat de propulsió i amb una grua de grans capacitats de càrrega, un vaixell de càrrega general i un vaixell *anchor handing tug*.

El port de subministrament haurà de ser un port proper a la instal·lació ja que els vaixells que es faran servir no poden carregar grans quantitats ni fer grans trajectes. Ha de ser un port amb capacitat d'emmagatzematge per a tots els components dels

aerogeneradors i amb espai suficient per a realitzar les maniobres de càrrega.

La instal·lació es comença col·locant les bases dels aerogeneradors. Aquestes bases de tipus flotant es remolquen amb l'ajuda de dos remolcadors (1).

Les bases es remolquen de manera flotant. Un cop a la posició d'instal·lació (2), un tercer remolcador s'encarrega d'obrir una tapa a la part inferior de la base, que la mantenia estanca (3).

1-



2-

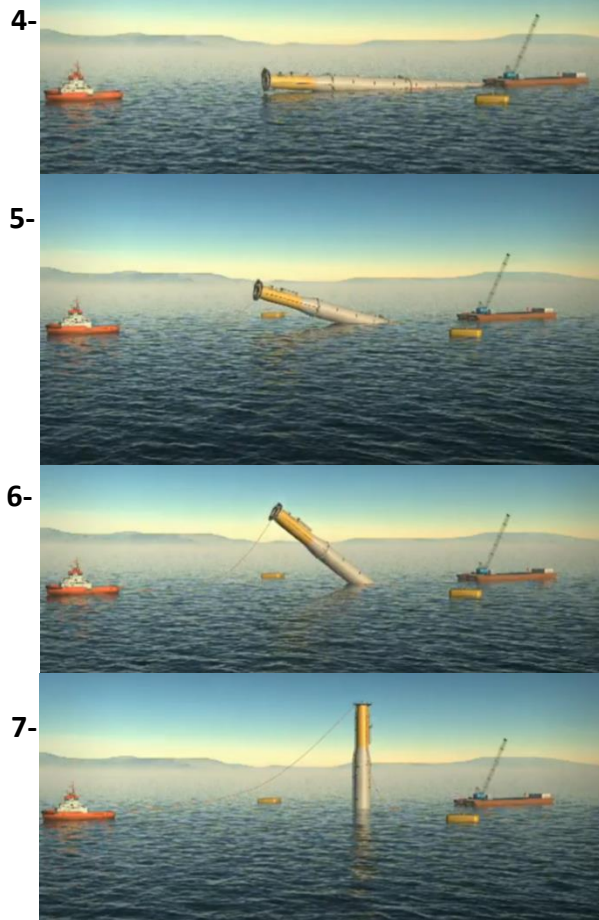


3-



Un cop oberta la tapa d'estanqueïtat, la plataforma flotant es posa en posició, encarada i amarrada a la base per tal de controlar el seu posicionament. L'aigua del mar comença a entrar per la part inferior de la base, fent que aquesta comenci a

posar-se en posició vertical.(4,5,6,7).



Un cop la base està totalment en posició vertical, la plataforma flotant la subjecta per tal que aquesta no es balancegi ni faci moviments incontrolats (8).

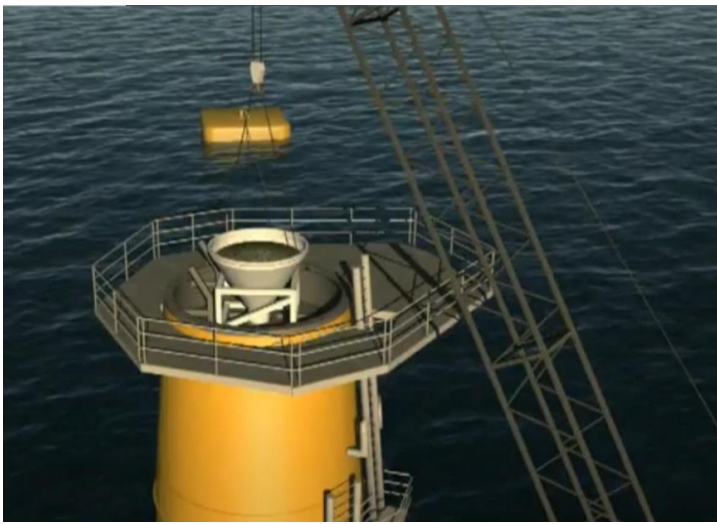


Un vaixell de càrrega, amb un carregament de llast (aigua i sorra), es posiciona al costat de la plataforma (9). La grua de la plataforma, capacitada per a

manipular aquest llast, el carrega i l'aboca a l'interior de la base del aerogenerador, donant-li estabilitat (10).



10-



Un cop col·locat el llast a l'interior de la base, aquesta queda ben estable. Una plataforma flotant amb propulsió i una grua amb gran capacitat de càrrega, va al port a carregar una part de la torre de l'aerogenerador i el connecta amb la base flotant (11).

11-



Un cop ha instal·lat la part de la torre, aquesta mateixa plataforma torna al port de subministrament per carregar i instal·lar la següent part de la torre i la góndola (12). Aquesta part torre-góndola estan pre-muntades al port, per facilitar la instal·lació i guanyar temps.

12-



La plataforma, amb l'ajuda de la grua, instal·la la torre-góndola amb les altres parts de l'aerogenerador ja instal·lats (13).

13-



Un cop feta la instal·lació, la plataforma torna al port.



La plataforma carrega el rotor i les pales de l'aerogenerador (**13 i 14**). Les pales estan pre-muntades amb el rotor, així la instal·lació a alta mar és més ràpida i segura.

13-



14-



15-



La plataforma es dirigeix cap al punt d'instal·lació i connecta el rotor-pales amb la góndola (**15**).

L'aerogenerador ja està muntat, però fa falta donar-li més estabilitat. Un vaixell *anchor handig tug* s'encarregarà d'aquesta funció (**16**).

16-



El vaixell col·locarà al fons marí una sèrie d'ancles, col·locades estratègicament, i aquestes estaran connectades mitjançant una cadena a la base de l'aerogenerador (**17**).

17-



## 16. CONCLUSIONS

Després d'avaluar diferents aspectes sobre la indústria eòlica *offshore*, com per exemple, el seu estat actual i els seus avantatges i inconvenients, es pot concloure que és un mercat amb molt de potencial i amb grans opcions de futur. El principal inconvenient que hi ha són els costos deguts a la flota necessària per a la instal·lació i el manteniment dels parcs eòlics, però s'estan dissenyant i construint vaixells que mica en mica van reduint aquests costos fent que l'energia eòlica *offshore* sigui més competitiva.

El futur és molt prometedor, ja que el mar és molt gran i amb moltes possibilitats d'instal·lacions un cop superats els reptes dels costos de la construcció de la flota necessària.

El principal repte a superar en un futur, per tal que aquesta tecnologia es pugui implementar en molts llocs, és la de poder instal·lar aquest parcs sense la limitació del fons marí. Com que hi ha moltes propostes d'aerogeneradors flotants, les properes instal·lacions amb prototips d'aquestes característiques permetran engrandir aquest mercat i abaratir costos.

Gràcies a aquest desenvolupant i aquestes previsions, el mercat naval i les navilieres espanyoles i de la resta del món, poden preveure un creixement i mantenir aquest sector en alça durant molt temps.

## 17. BIBLIOGRAFIA

- **LINKS D'INTERÈS:**

- ENERGIA EÒLICA OFFSHORE

<http://www.theengineer.co.uk/in-depth/the-big-story/wind-energy-gets-serial/1012449.article> 15/02/2013

<http://renovables.wordpress.com/2008/08/01/esquema-de-un-aerogenerador/> 15/02/2013

<http://www.wind-energy-the-facts.org/en/part-i-technology/chapter-5-offshore/wind-farm-design-offshore/offshore-support-structures.html> 17/02/2013

<http://bildarchiv.alpha-ventus.de/index.php> 10/01/2013

<http://www.dongenergy.com/en/Pages/index.aspx> 22/01/2013

<http://www.offshorewind.biz/> 20/11/2012

[http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk\\_news/6969865.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/6969865.stm) 27/02/2013

[http://www.thecrownstate.co.uk/media/211144/guide\\_to\\_offshore\\_windfarm.pdf](http://www.thecrownstate.co.uk/media/211144/guide_to_offshore_windfarm.pdf) 20/02/2013

<http://www.youtube.com/watch?v=GAyPpQ4gnjg> 10/01/2013

[http://www.statoil.com/en/NewsAndMedia/News/2012/Pages/17Oct\\_Dudgeon.aspx](http://www.statoil.com/en/NewsAndMedia/News/2012/Pages/17Oct_Dudgeon.aspx) 10/01/2013

<http://www.bnoffshore.com/> 10/01/2013

<http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada> 10/11/2012

<http://www.kongsberg.com/> 10/01/2013

<http://www.a2sea.com/> 10/10/2012

- VAIXELLS

<http://www.osirisprojects.co.uk/> 10/12/2012

<http://www.marinelog.com/DOCS/NEWSMMIX/2010jun00180.html> 10/03/2013

<http://www.bbc-chartering.com/> 10/12/1012

<http://www.gustomsc.com/index.php> 15/12/2012

<http://maersksupplyservice.com/Pages/default.aspx> 15/11/2012

<http://www.damen.nl/> 15/11/2012

[http://www.siemoffshore.com/Files//Filer/Vessels/siemoffshore\\_specifications\\_siema\\_hsts.pdf](http://www.siemoffshore.com/Files//Filer/Vessels/siemoffshore_specifications_siema_hsts.pdf) 15/11/2012

<http://www.siemoffshore.com/Default.aspx?ID=53> 15/11/2012

<http://www.solstad.no/normand-arctic/category368.html> 25/10/2012

<http://www.ship-oilrig.com/how-jacking-system-works-on-a-jack-up-drilling-platform/> 27/12/2012

[http://www.hgo-infrasea-solutions.de/fact\\_sheet.html](http://www.hgo-infrasea-solutions.de/fact_sheet.html) 27/12/2012

<http://www.remolcadores.com/> 20/10/2012

<http://www.reyser.com/> 20/10/2012

<http://www.eddaaccommodation.com./> 10/02/2013

<http://www.windlifter.nl/about.html> 27/02/2013

[http://www.alibaba.com/product-free/113271692/Jack\\_up\\_rig.html](http://www.alibaba.com/product-free/113271692/Jack_up_rig.html) 27/11/2012

<http://www.supplyvessel.net/jobs> 27/11/2012

<http://www.jackupbarge.com> 27/12/2012

- **REFERENCIES BIBLIOGRÀFIQUES.**

- Offshore Support Vessels a practical guide. by Gary Ritchie, master mariner, BA(Hons) MNI. The Nautical Institute 2008

- **PROJECTES CONSULTATS.**

- DISEÑO, CÁLCULO Y VERIFICACIÓN DE UN AEROGENERADOR MARINO CON FONDEO TLP. Autor: Jordi Segalés Torras. Director: Julio García Espinosa Año: 2011. Facultat de Nàutica de Barcelona.



- TESIS DOCTORAL. CONTROL DE PARQUES EÓLICOS OFFSHORE CONECTADOS A RED MEDIANTE ENLACE DE CONTINUA HVdc- LCC. Autor: MIGUEL EDUARDO MONTILLA D'JESÚS. Directores: Dr. D. Santiago Arnaltes Gómez ; Dr. D. David Santos Martín. Leganés, 2010 UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.
- OFFSHORE WIND TRANSPORT AND INSTALLATION VESSEL ETSU W/61/00570/REP DTI/Pub URN 01/1517. Contractor: Harland and Wolff Licences Ltd. First Published 2001.